

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 2 月 10 日 (10.02.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/012965 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 6/10, 6/24, H04B 10/08
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/011164
- (22) 国際出願日: 2004 年 8 月 4 日 (04.08.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-286118 2003 年 8 月 4 日 (04.08.2003) JP
特願 2003-427765
2003 年 12 月 24 日 (24.12.2003) JP
特願2004-067801 2004 年 3 月 10 日 (10.03.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 笹岡 英資 (SASAKA, Eisuke) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP). 山本 義典 (YAMAMOTO,

Yoshinori) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP). 藤本 一成 (FUJIMOTO, Kazunari) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目 10 番 6 号 銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

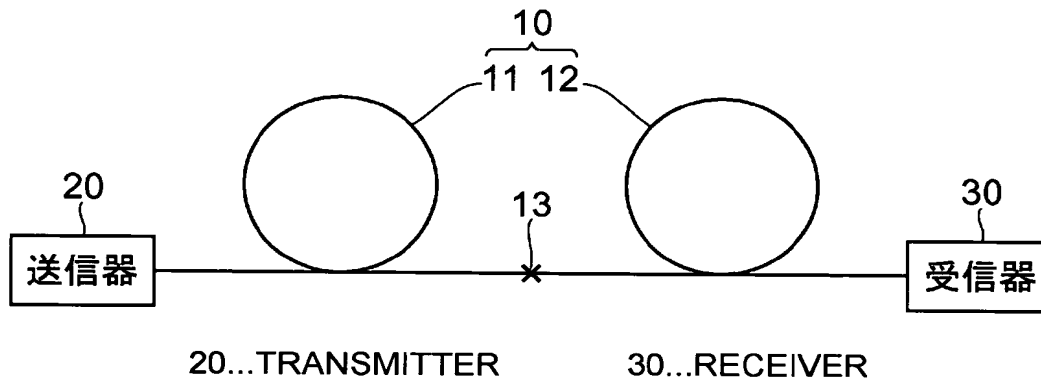
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL TRANSMISSION LINE CONSTITUTING METHOD, OPTICAL TRANSMISSION LINE, AND OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: 光伝送路構成方法、光伝送路、及び光ファイバ



(57) Abstract: Disclosed is an optical transmission line constituting method and the like which enables to measure connection loss more accurately at low cost. At least one of the first and second optical fibers to be connected as components of the optical transmission line is selected such that a predetermined relation is satisfied between the first and second optical fibers, which relation is defined by Rayleigh scattering coefficients, mode field diameters and transmission losses of the first and second optical fibers at a wavelength λ within the wavelength range from 1260 nm to 1625 nm.

(57) 要約: この発明は、より正確な接続損失を安価に測定することができる光伝送路を構成する方法等に関する。当該光伝送路の構成要素として接続されるべき第 1 及び第 2 光ファイバの少なくとも一方は、波長範囲 1260 nm ~ 1625 nm に含まれるいずれかの波長を λ おける該第 1 及び第 2 光ファイバの各レイリ散乱係数、波長 λ における該第 1 及び第 2 光ファイバの各モードフィールド径、及び波長 λ における該第 1 及び第 2 光ファイバの各伝送損失で規定される所定の関係が該第 1 及び第 2 光ファイバ間で満たされるよう選択される。

BEST AVAILABLE COPY

WO 2005/012965 A1



CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,
IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,
TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

明 細 書

光伝送路構成方法、光伝送路、及び光ファイバ 技術分野

[0001] この発明は、複数の光ファイバで構成された光伝送路、該光伝送路に適用可能な光ファイバ、及び該光伝送路を構成するための方法に関するものである。

背景技術

[0002] 光伝送システムにおいて、光送信器から送出された信号光は、主に光ファイバから構成される光伝送路を介して伝送される。そして、信号光は光受信器に到達し該光受信器により受信される。このような光伝送システムにおいて、大容量の情報を高速に伝送するためには、光送信器と光受信器との間に敷設された光伝送路の光学特性が良好であることが要求される。

[0003] 例えば、累積波長分散に起因した信号光波形の劣化を抑制するために、伝送用光ファイバと分散補償光ファイバとを接続することにより構成された光伝送路では、当該光伝送路全体における累積波長分散の絶対値が小さく抑えられる。また、伝送用光ファイバを伝搬する間に信号光が被った損失を補償するために、伝送用光ファイバと増幅用光ファイバとを接続することにより構成された光伝送路では、増幅用光ファイバにおいて信号光が増幅される。なお、上述のような分散補償光ファイバや増幅用光ファイバは、中継区間に敷設される場合もあるし、また、コイル状に巻かれたモジュールとして中継局等に設置される場合もある。

[0004] また、光伝送路の変更や延長の際にも、既設の光ファイバに対して他の光ファイバがさらに接続される場合もある。

[0005] このように複数の光ファイバを接続することにより構成された光伝送路では、当該光伝送路全体の光学特性が良好であることが要求されるだけでなく、光伝送路を構成する光ファイバ間の接続点における損失(接続損失)が小さいことが要求される。なお、接続損失はOTDR (Optical Time Domain Reflectometer) 試験により測定され得る。

[0006] OTDR試験は、パルス試験光を光伝送路の一端から入射し、このパルス試験光が

光伝送路を伝搬する間に各位置で生じる後方散乱光を該一端で検出する。そして、この後方散乱光の強度の時間変化に基づいて、光伝送路の長手方向の損失の分布が得られる。

- [0007] このように、2本の光ファイバを接続した場合、その接続点の前後における散乱光強度がOTDR試験により測定される。そして、これらの散乱光強度の差が小さければ、接続作業が良好に行われたと判定される。一方、これらの散乱光強度の差が大きければ、接続作業が失敗したと判定され、再び接続作業が行われる。

非特許文献1:OFS社、“Mixing TrueWaveR RS Fiber with Other Single-Mode Fiber Designs Within a Network”、[平成16年2月27日検索]、<URL

:<http://www.ofsoptics.com/simages/pdfs/fiber/whitePaper/MixingSingle-ModeFibers1002-0702.pdf>>

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0008] 発明者らは、複数の光ファイバで構成された従来の光伝送路について検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、特性改善を意図して複数の光ファイバを接続することにより構成された光伝送路の第1端からパルス試験光を入射した場合、OTDR試験により得られた散乱光強度の差が小さいときであっても接続損失の実際の値が大きいときがあり、逆に、散乱光強度の差が大きいときであっても接続損失の実際の値が小さいときがある。これは、光伝送路の第1端からパルス試験光が該光伝送路に入射されたときの散乱光強度の差から求められる接続損失の測定値 β_1 には誤差が含まれるからである。

- [0009] そこで、より正確な接続損失の測定値を得るには、光伝送路の第2端からパルス試験光が該光伝送路に入射されたときの散乱光強度の差から求められる接続損失の測定値 β_2 も求め、 β_1 と β_2 との平均値 $\beta (= (\beta_1 + \beta_2) / 2)$ として接続損失を求める。このように平均をとることにより、より正確な接続損失 β を得ることができる(非特許文献1)。しかしながら、この場合には、光伝送路の両端それぞれの側にOTDR試験装置を設ける必要があり、システムコストが高くなり、また、測定に時間を要するという課題があった。

[0010] この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、より正確な接続損失を安価に測定することができる光伝送路を構成する方法、このような光伝送路、及び該光伝送路に適用可能な光ファイバを提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0011] この発明に係る光伝送路構成方法は、所定の関係を満たす第1光ファイバと第2光ファイバとを接続することにより光伝送路を構成する方法である。また、この発明に係る光伝送路は、所定の関係を満たす第1光ファイバと第2光ファイバとを備えた光伝送路である。波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、第1光ファイバのレイリ散乱係数を $A1$ とし、第1光ファイバのモードフィールド径を $B1$ とし、第1光ファイバの伝送損失を $\alpha 1$ とし、第2光ファイバのレイリ散乱係数を $A2$ とし、第2光ファイバのモードフィールド径を $B2$ とし、第2光ファイバの伝送損失を $\alpha 2$ とする。

[0012] なお、上記波長範囲1260nm～1625nmは、光伝送システムにおいて信号波長域として用いられ得るOバンド(1260nm～1360nm)、Eバンド(1360nm～1460nm)、Sバンド(1460nm～1530nm)、Cバンド(1530nm～1565nm)及びLバンド(1565nm～1625nm)を含むものである。

[0013] そして、以下の式(1a)～(1c)で表されるパラメータ K を定義する。

[数1]

$$X = 1 - 10^{-A1/\lambda^4/10} \quad \dots (1a)$$

$$Y = 1 - 10^{-A2/\lambda^4/10} \quad \dots (1b)$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right| \quad \dots (1c)$$

[0014] このとき、この発明に係る光伝送路構成方法は、上記第1及び第2光ファイバが、上記式(1a)～(1c)で表されるパラメータ K の値が0.2dB以下であって、 $A1$ と $A2$ との差の絶対値が $0.03\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ より大きい関係を満たすよう、第1光ファイバ及び第2光ファイバの少なくとも一方を選択し、そして、このような関係を満たしている第1

光ファイバと第2光ファイバとを接続することで光伝送路を構成する。なお、当該光伝送路構成方法は、上記第1及び第2光ファイバが、上記式(1a)～(1c)で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、比 $(B2/B1)$ の値が0.97以下である関係を満たすよう、第1光ファイバ及び第2光ファイバの少なくとも一方を選択し、そして、このような関係を満たしている第1光ファイバと第2光ファイバとを接続することで光伝送路を構成してもよい。また、当該光伝送路構成方法は、上記第1及び第2光ファイバが、上記式(1a)～(1c)で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が $0.08\text{dB/km}/\mu\text{m}^4$ 以上であり、比 $(B2/B1)$ の値が0.97以下である関係を満たすよう、第1光ファイバ及び第2光ファイバの少なくとも一方を選択し、このような関係を満たしている第1光ファイバと第2光ファイバとを接続することで光伝送路を構成してもよい。

[0015] この発明に係る光伝送路は、互いに接続された第1光ファイバと第2光ファイバを備え、これら第1及び第2光ファイバは、上記式(1a)～(1c)で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が $0.03\text{dB/km}/\mu\text{m}^4$ より大きい関係を満たしているのが好ましい。なお、当該光伝送路を構成する上記第1及び第2光ファイバは、上記(1a)～(1c)で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、比 $(B2/B1)$ の値が0.97以下である関係を満たしていてもよい。また、上記光伝送路を構成する上記第1及び第2光ファイバは、上記式(1a)～(1c)式で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が $0.08\text{dB/km}/\mu\text{m}^4$ 以上であり、比 $(B2/B1)$ の値が0.97以下である関係を満たしていてもよい。

[0016] この発明に係る光伝送路において、上記第1及び第2光ファイバは、OTDR試験による接続損失測定の誤差(光伝送路の両端それぞれからパルス試験光を入射して得られた接続損失の測定値 β_1 、 β_2 の平均値 β と一方の測定値 β_1 との差の絶対値)が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が $0.03\text{dB/km}/\mu\text{m}^4$ より大きい関係を満たしているのが好ましい。なお、上記第1及び第2光ファイバは、OTDR試験による接続損失測定の誤差が0.2dB以下であって、比 $(B2/B1)$ の値が0.97以下である関係を満たしていてもよい。また、上記第1及び第2光ファイバは、OTDR

試験による接続損失測定の実差が0. 2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が0. 08dB/km/μm⁴以上であり、比(B2/B1)の値が0. 97以下である関係を満たしていてもよい。

[0017] また、上記式(1a)～(1c)に替えて、以下の式(2a)～(2c)式で表されるパラメータKを定義する。

[数2]

$$X = 1 - 10^{-(\alpha_1 - 0.02)/10} \quad \dots (2a)$$

$$Y = 1 - 10^{-(\alpha_2 - 0.02)/10} \quad \dots (2b)$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right| \quad \dots (2c)$$

[0018] この場合、この発明に係る光伝送路構成方法は、上記第1及び第2光ファイバが、上記式(2a)～(2c)で表されるパラメータKの値が0. 2dB以下であって、α1とα2との差の絶対値が0. 03/λ⁴dB/km以上である関係を満たすよう、第1光ファイバ及び第2光ファイバの少なくとも一方を選択し、そして、この関係を満たしている第1光ファイバと第2光ファイバとを接続することで光伝送路を構成してもよい。なお、当該光伝送路構成方法は、上記第1及び第2光ファイバが、上記(2a)～(2c)で表されるパラメータKの値が0. 2dB以下であって、α1とα2との差の絶対値が0. 08/λ⁴dB/km以上であり、比(B2/B1)の値が0. 97以下である関係を満たすよう、第1光ファイバ及び第2光ファイバの少なくとも一方を選択し、そして、このような関係を満たしている第1光ファイバと第2光ファイバとを接続することで光伝送路を構成してもよい。

[0019] 一方、この発明に係る光伝送路において、第1及び第2光ファイバは、上記式(2a)～(2c)で表されるパラメータKの値が0. 2dB以下であって、α1とα2との差の絶対値が0. 03/λ⁴dB/km以上である関係を満たしている。なお、当該光伝送路を構成する第1及び第2光ファイバは、上記式(2a)～(2c)で表されるパラメータKの値が0. 2dB以下であって、α1とα2との差の絶対値が0. 08/λ⁴dB/km以上であり、比(B2/B1)の値が0. 97以下である関係を満たしてもよい。

- [0020] また、この発明に係る光伝送路は、上記第1及び第2光ファイバが、OTDR試験による接続損失測定の実差が0.2dB以下であって、 α_1 と α_2 との差の絶対値が $0.03/\lambda^4$ dB/kmより大きい関係を満たしてもよい。また、治当該光伝送路を構成する上記第1及び第2光ファイバは、OTDR試験による接続損失測定の実差が0.2dB以下であって、 α_1 と α_2 との差の絶対値が $0.08/\lambda^4$ dB/km以上であり、比(B_2/B_1)の値が0.97以下である関係を満たしていてもよい。
- [0021] パラメータKが上記式(1a)～(1c)で定義される場合、この発明に係る光伝送路構成方法又は光伝送路では、第1光ファイバのレイリ散乱係数 A_1 が 0.94 dB/km/ μm^4 ～ 1.00 dB/km/ μm^4 の範囲にあり、第2光ファイバのレイリ散乱係数 A_2 が 0.84 dB/km/ μm^4 ～ 0.90 dB/km/ μm^4 の範囲にあり、波長1310nmにおける第1光ファイバのモードフィールド径 B_1 が $9.0\mu\text{m}$ ～ $9.5\mu\text{m}$ の範囲にあり、波長1310nmにおける第2光ファイバのモードフィールド径 B_2 が $8.3\mu\text{m}$ ～ $9.0\mu\text{m}$ の範囲にあるのが好ましい。また、当該光伝送路の一部を構成する光ファイバ(この発明に係る光ファイバ)は、レイリ散乱係数が 0.84 dB/km/ μm^4 ～ 0.90 dB/km/ μm^4 の範囲にあり、波長1310nmにおけるモードフィールド径が $8.3\mu\text{m}$ ～ $9.0\mu\text{m}$ の範囲にあるのが好ましい。なお、この光ファイバのクラッド領域にはフッ素が添加されているのが好ましい。
- [0022] 一方、パラメータKが上記式(2a)～(2c)で定義される場合、この発明に係る光伝送路構成方法又は光伝送路では、波長1310nmにおいて、第1光ファイバの伝送損失 α_1 が 0.32 dB/km～ 0.35 dB/kmの範囲にあり、第2光ファイバの伝送損失 α_2 が 0.28 dB/km～ 0.32 dB/kmの範囲にあり、第1光ファイバのモードフィールド径 B_1 が $9.0\mu\text{m}$ ～ $9.5\mu\text{m}$ の範囲にあり、第2光ファイバのモードフィールド径 B_2 が $8.3\mu\text{m}$ ～ $9.0\mu\text{m}$ の範囲にあるのが好ましい。また、この発明に係る光ファイバは、波長1310nmにおいて、伝送損失が 0.28 dB/km～ 0.32 dB/kmの範囲にあり、モードフィールド径が $8.3\mu\text{m}$ ～ $9.0\mu\text{m}$ の範囲にあるのが好ましい。なお、この光ファイバのクラッド領域にはフッ素が添加されているのが好ましい。
- [0023] なお、この発明に係る光伝送路構成方法又は光伝送路において、上記式(a)～(1c)又は式(2a)～(2c)で定義されるパラメータKの値が0.1dB以下であるのがより好

ましい。また、この発明に係る光伝送路の一部が一般的な伝送用光ファイバ(1.3 μ m波長帯において高品質多重伝送が可能な標準的なシングルモード光ファイバ)で構成される場合、この発明に係る光ファイバは、波長1310nmにおいて0.28dB/km以上かつ0.32dB/km以下の、伝送損失と、そして、波長1310nmにおいて8.3 μ m以上かつ9.0 μ m以下のモードフィールド径を有するのが好ましい。

発明の効果

- [0024] 以上のようにこの発明によれば、より正確な接続損失を安価に測定することができる光伝送路を構成することができる。

図面の簡単な説明

- [0025] [図1]図1は、この発明に係る光伝送路を含む光伝送システムの構成を示す図である。
- [図2]図2は、差($A1-A2$)と比($B2/B1$)とがなす2次元平面上におけるパラメータKの等高線を示す図である。
- [図3]図3は、この発明に係る光伝送路として用意されたサンプル1〜12それぞれの諸元を纏めた表である。
- [図4]図4は、差($\alpha 1-\alpha 2$)と比($B2/B1$)とがなす2次元平面上におけるパラメータKの等高線を示す図である。
- [図5]図5は、この発明に係る光伝送路として用意されたサンプル13〜20それぞれの諸元を纏めた表である。
- [図6]図6は、この発明に係る光ファイバの構造を説明するための断面図及び屈折率プロファイルである。
- [図7]図7は、この発明に係る光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。
- [図8]図8は、この発明に係る光ファイバの波長分散の波長依存性を示すグラフである。
- [図9]図9は、この発明に係る光ファイバとして用意されたサンプルの製造方法を説明するための工程図である。
- [図10]図10は、この発明に係る光ファイバとして用意されたサンプルA及び比較例A

それぞれの諸特性を纏めた表である。

[図11]図11は、この発明に係る光ファイバとして用意されたサンプルA及び比較例Aそれぞれの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。

[図12]図12は、国際規格 (ITU-T G.652) で規定される標準的なシングルモード光ファイバの波長分散特性を基準として、この発明に係る光ファイバの波長分散特性を示すグラフである。

[図13]図13は、サンプルB-I及び比較例Bそれぞれに係る光ファイバの諸特性を纏めた表である。

[図14]図14は、波長1310nmにおけるモードフィールド径MFDを横軸としケーブルカットオフ波長 λ_{cc} を縦軸とする2次元空間上において、サンプルB-F及び比較例Bそれぞれに係る光ファイバの (MFD, λ_{cc}) の位置を示すとともに、等波長分散曲線をも示すグラフである。

[図15]図15は、波長1310nmにおけるモードフィールド径MFDを横軸としケーブルカットオフ波長 λ_{cc} を縦軸とする2次元空間上において、サンプルB-F及び比較例Bそれぞれに係る光ファイバの (MFD, λ_{cc}) の位置を示すとともに、等分散スロープ曲線をも示すグラフである。

符号の説明

- [0026] 10…光伝送路
- 11…第1光ファイバ
- 12…第2光ファイバ
- 13…接続点
- 20…光送信器
- 30…光受信器
- 100…光ファイバ
- 110…コア領域
- 120…クラッド領域

発明を実施するための最良の形態

- [0027] 以下、この発明を実施するための最良の形態を、図1～図15を用いて詳細に説明

する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

- [0028] 図1は、この発明に係る光伝送路を含む光伝送システムの構成を示す図である。この図1に示された光伝送システムでは、光送信器20と光受信器30との間に光伝送路10が敷設されている。光伝送路10は、第1光ファイバ11と第2光ファイバ12とが互いに融着接続されている。
- [0029] この光伝送システムにおいて、光送信器20から送出された信号光は、第1光ファイバ11及び第2光ファイバ12を順次伝搬し、光受信器30に到達する。ここで、信号光の波長 λ は、波長範囲1260nm〜1625nmに含まれる。また、この波長範囲に含まれる複数チャネルが多重化された信号光(多重化信号光)が伝送されてもよい。
- [0030] 第1光ファイバ11及び第2光ファイバ12それぞれは、光送信器20と光受信器30との間に敷設されていてもよいし、コイル状に巻かれた状態でモジュール化されていてもよい。
- [0031] 例えば、第1光ファイバ11は、波長 λ において正の波長分散を有する伝送用光ファイバであり、第2光ファイバ12は波長 λ において負の波長分散を有する分散補償光ファイバである。この場合、光伝送路10全体の累積波長分散の絶対値が小さくなり、光伝送路10により伝送される信号光の波形劣化が抑制されて、大容量の情報を高速に伝送する上で好ましい。
- [0032] また、例えば、第1光ファイバ11は通常の伝送用光ファイバであり、第2光ファイバ12は信号光を光増幅する増幅用光ファイバであってもよい。光ファイバ12は、Er元素が添加された増幅用光ファイバであってもよいし、ラマン増幅用の光ファイバであってもよい。この場合、光送信器20から送出された信号光は、第1光ファイバ11を伝搬する間に損失を被るが、第2光ファイバ12を伝搬する間に増幅される。そのため、増幅用光ファイバを含む光伝送路10は、全体の伝送損失が小さくなり、長距離伝送に適している。
- [0033] その他、例えば、光伝送路の変更や延長の際にも、既設の光ファイバに対して他の光ファイバが接続されることにより新たな光伝送路が構成される場合もある。
- [0034] このような光伝送路10を構成する場合、互いに種類が異なる第1光ファイバ11と第

2光ファイバ12とが融着接続される。そして、接続作業が良好に行われたか否かは、OTDR試験により測定された当該接続点13における接続損失の大きさにより判定される。一般に、OTDR試験の際に光伝送路10の一端(例えば光送信器20の側)からパルス試験光を光伝送路10に入射させるのみでは、接続損失の測定値が誤差を含むことから、正確な接続損失の値を得ることができない場合がある。この発明に係る光伝送路10及び光伝送路構成方法は、以下に説明するように、このような問題を解決することができるものである。

- [0035] 光ファイバの伝送損失 α (db/km)は、波長 λ (μ m)に依存しており、以下の式(3)で表される。この式(3)における右辺の第1項はレイリ散乱に起因した損失を表し、第3項は紫外吸収損失を表し、第4項は赤外吸収損失を表し、第5項は不純物に因る吸収損失を表している。この式(3)における右辺の第3項、第4項及び第5項が無視し得る程度に小さいとすると、式(3)は以下の式(4)で近似される。

[数3]

$$\alpha(\lambda) = A/\lambda^4 + B + C_1 \exp(C_2/\lambda) + D_1 \exp(-D_2/\lambda) + E(\lambda) \quad \dots (3)$$

[数4]

$$\alpha(\lambda) = A/\lambda^4 + B \quad \dots (4)$$

- [0036] 光ファイバの実際の伝送損失 $\alpha(\lambda)$ を上記式(4)でフィッティングしたときの、上記式(4)における右辺の第1項の係数Aを、該光ファイバのレイリ散乱係数と定義する。そして、第1光ファイバ11のレイリ散乱係数をA1 (dB/km/ μ m⁴)とし、波長 λ (μ m)において、第1光ファイバ11のモードフィールド径をB1 (μ m)とし、第1光ファイバ11の伝送損失を α 1 (dB/km)とする。また、第2光ファイバ12のレイリ散乱係数をA2 (dB/km/ μ m⁴)とし、波長 λ (μ m)において、第2光ファイバ12のモードフィールド径をB2 (μ m)とし、第2光ファイバ12の伝送損失を α 2 (dB/km)とする。
- [0037] 上記式(4)から、第1光ファイバ11のレイリ散乱により散乱される割合Xは以下の式(5a)で表され、第2光ファイバ12のレイリ散乱により散乱される割合Yは以下の式(5

b)で表される。そして、以下の式(5c)のように、式(5a)、(5b)を用いてパラメータKを定義する。

[数5]

$$X = 1 - 10^{-A1/\lambda^4/10} \quad \dots (5a)$$

$$Y = 1 - 10^{-A2/\lambda^4/10} \quad \dots (5b)$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right| \quad \dots (5c)$$

[0038] このとき、光伝送路10を構成する第1及び第2光ファイバ11、12は、上記式(5a)～(5c)で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が0.03dB/km/ μm^4 より大きい関係を満たしている。なお、上記第1及び第2光ファイバ11、12は、上記式(5a)～(5c)で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、比(B2/B1)の値が0.97以下である関係を満たしてもよい。また、上記第1及び第2光ファイバ11、12は、上記(5a)～(5c)で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が0.08dB/km/ μm^4 以上であり、比(B2/B1)の値が0.97以下である関係を満たしてもよい。より好ましくは、パラメータKの値は0.1dB以下である。

[0039] さらに、光伝送路10を構成する第1及び第2光ファイバ11、12は、OTDR試験による接続損失測定の実差が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が0.03dB/km/ μm^4 より大きい関係を満たしてもよい。あるいは、上記第1及び第2光ファイバ11、12は、OTDR試験による接続損失測定の実差が0.2dB以下であって、比(B2/B1)の値が0.97以下である関係を満たしてもよい。上記第1及び第2光ファイバ11、12は、OTDR試験による接続損失測定の実差が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が0.08dB/km/ μm^4 以上であり、比(B2/B1)の値が0.97以下である関係を満たしてもよい。より好ましくは、パラメータKの値は0.1dB以下である。

[0040] 上記しい(5a)～(5c)で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が0.08dB/km/ μm^4 以上であり、比(B2/B1)の値が0.97以下

である関係を満たしている第1及び第2光ファイバ11、12の一例として、以下のような第1光ファイバ11及び第2光ファイバ12が挙げられる。すなわち、第1光ファイバ11のレイリ散乱係数A1は、典型値が $0.980\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ であり、最大値が $0.995\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ であり、最小値が $0.965\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ であり、また、波長 1550nm における第1光ファイバ11のモードフィールド径B1は、典型値が $10.40\mu\text{m}$ であり、最大値が $10.55\mu\text{m}$ であり、最小値が $10.25\mu\text{m}$ である。一方、第2光ファイバ12のレイリ散乱係数A2は、典型値が $0.870\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ であり、最大値が $0.885\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ であり、最小値が $0.855\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ であり、また、波長 1550nm における第2光ファイバ12のモードフィールド径B2は、典型値が $9.80\mu\text{m}$ であり、最大値が $9.95\mu\text{m}$ であり、最小値が $9.65\mu\text{m}$ である。このとき、A1とA2との差の最小値が $0.08\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ であり、比 $(B2/B1)$ の最大値が 0.97 である。

[0041] また、上記式(5a)～(5c)に替えて、以下の式(6a)～(6c)式で表されるパラメータKを定義する。この式では、上記式(1)における右辺の第1項以外の項による損失を $0.02\text{dB}/\text{km}$ とした。

[数6]

$$X = 1 - 10^{-(\alpha 1 - 0.02)/10} \quad \dots (6a)$$

$$Y = 1 - 10^{-(\alpha 2 - 0.02)/10} \quad \dots (6b)$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right| \quad \dots (6c)$$

[0042] このとき、光伝送路10を構成する第1及び第2光ファイバ11、12は、上記式(6a)～(6c)で表されるパラメータKの値が 0.2dB 以下であって、 $\alpha 1$ と $\alpha 2$ との差の絶対値が $0.03/\lambda^4\text{dB}/\text{km}$ 以上である関係を満たしている。なお、上記第1及び第2光ファイバ11、12は、上記式(6a)～(6c)で表されるパラメータKの値が 0.2dB 以下であって、 $\alpha 1$ と $\alpha 2$ との差の絶対値が $0.08/\lambda^4\text{dB}/\text{km}$ 以上であり、比 $(B2/B1)$ の値が 0.97 以下である関係を満たしている。より好ましくは、パラメータKの値は 0.1dB 以下である。

[0043] また、光伝送路10を構成する第1及び第2光ファイバ11、12は、OTDR試験による

接続損失測定の実差が0.2dB以下であって、 α_1 と α_2 との差の絶対値が $0.03/\lambda^4$ dB/kmより大きい関係を満たしている。なお、上記第1及び第2光ファイバ11、12は、OTDR試験による接続損失測定の実差が0.2dB以下であって、 α_1 と α_2 との差の絶対値が $0.08/\lambda^4$ dB/km以上であり、比(B_2/B_1)の値が0.97以下である関係を満たしてもよい。より好ましくは、パラメータKの値は0.1dB以下である。

- [0044] この発明に係る光伝送路構成方法では、第1及び第2光ファイバ11、12が上述のような関係を満たすよう、第1光ファイバ11及び第2光ファイバ12の少なくとも一方が選択され、上気関係を満たしている第1光ファイバ11と第2光ファイバ12とが接続されることにより光伝送路10が構成される。
- [0045] パラメータKが上記式(5a)～(5c)で定義される場合、この発明に係る光伝送路構成方法又は光伝送路10において、第1光ファイバ11のレイリ散乱係数A1が $0.94\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ ～ $1.00\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ の範囲にあり、第2光ファイバ12のレイリ散乱係数A2が $0.84\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ ～ $0.90\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ の範囲にあり、波長1310nmにおける第1光ファイバ11のモードフィールド径B1が $9.0\mu\text{m}$ ～ $9.5\mu\text{m}$ の範囲にあり、波長1310nmにおける第2光ファイバ12のモードフィールド径B2が $8.3\mu\text{m}$ ～ $9.0\mu\text{m}$ の範囲にあるのが好ましい。また、第2光ファイバ12のクラッド領域にはフッ素が添加されているのが好ましい。
- [0046] 一方、パラメータKが上記式(6a)～(6c)で定義される場合、この発明に係る光伝送路構成方法又は光伝送路10において、波長1310nmにおいて、第1光ファイバ11の伝送損失 α_1 が $0.32\text{dB}/\text{km}$ ～ $0.35\text{dB}/\text{km}$ の範囲にあり、第2光ファイバ12の伝送損失 α_2 が $0.28\text{dB}/\text{km}$ ～ $0.32\text{dB}/\text{km}$ の範囲にあり、第1光ファイバ11のモードフィールド径B1が $9.0\mu\text{m}$ ～ $9.5\mu\text{m}$ の範囲にあり、第2光ファイバ12のモードフィールド径B2が $8.3\mu\text{m}$ ～ $9.0\mu\text{m}$ の範囲にあるのが好ましい。また、第2光ファイバ12のクラッド領域にはフッ素が添加されているのが好ましい。
- [0047] 以上のように、光伝送路10又は光伝送路構成方法では、光伝送路10の一端側のみからパルス試験光を入射させてOTDR試験を行うでもより正確な接続損失を測定することができる。
- [0048] 図2及び図3は、波長 λ を1550nmとした場合の測定結果及び具体例を示してい

る。図2は、差($A_1 - A_2$)と比(B_2 / B_1)とがなす2次元平面上におけるパラメータKの等高線を示す図である。この図2において、グラフG210は $K = 0\text{dB}$ の等高線、グラフG220は $K = 0.1\text{dB}$ の等高線、そして、グラフG230は $K = 0.2\text{dB}$ の等高線をそれぞれ示している。一方、図3は、この発明に係る光伝送路10として用意されたサンプル1〜12それぞれの諸元を纏めた表である。この図3には、各サンプルについて、第1光ファイバ11のレイリ散乱係数 A_1 、第2光ファイバ12のレイリ散乱係数 A_2 、差($A_1 - A_2$)、第1光ファイバ11のモードフィールド径 B_1 、第2光ファイバ12のモードフィールド径 B_2 、比(B_2 / B_1)、及び、上記式(5a)〜(5c)で表されるパラメータKの値又は接続損失測定誤差が示されている。

[0049] さらに、図4及び図5は、波長 λ を1310nmとした場合の測定結果及び具体例を示す。図4は、差($\alpha_1 - \alpha_2$)と比(B_2 / B_1)とがなす2次元平面上におけるパラメータKの等高線を示す図である。この図4において、グラフG410は $K = 0\text{dB}$ の等高線、グラフG420は $K = 0.1\text{dB}$ の等高線、そして、グラフG430は $K = 0.2\text{dB}$ の等高線が示されている。一方、図5は、この発明にかかる光伝送路として用意されたサンプル13〜20それぞれの諸元を纏めた表である。この図5には、各サンプルについて、第1光ファイバ11の伝送損失 α_1 、第2光ファイバ12の伝送損失 α_2 、差($\alpha_1 - \alpha_2$)、第1光ファイバ11のモードフィールド径 B_1 、第2光ファイバ12のモードフィールド径 B_2 、比(B_2 / B_1)、及び、上記式(6a)〜(6c)で表されるパラメータKの値又は接続損失測定誤差が示されている。

[0050] これらいずれのサンプルにおいても、上記式(5a)〜(5c)又は式(6a)〜(6c)で表されるパラメータKの値又は接続損失測定誤差が 0.2dB 以下である。また、幾つかのサンプルにおいては、パラメータKの値又は接続損失測定誤差が 0.1dB 以下である。

[0051] 次に、上述の光伝送路に適用可能な光ファイバ(この発明に係る光ファイバ)の各実施例を、図6〜図15それぞれを用いて詳細に説明する。この光ファイバ(この発明に係る光ファイバ)は、国際規格(ITU-T G.652)で規定される標準的なシングルモード光ファイバとの互換性が優れ($1.3\mu\text{m}$ 波長帯において高品質多重伝送が可能)、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯においても高品質多重伝送が可能な、より広帯域での信号伝送

に適した光ファイバである。特に、以下に説明する光ファイバは、光伝送路10における第1光ファイバ11が標準的なシングルモード光ファイバで構成される場合に、より低損失での接続を可能にする第2光ファイバ12として適用されえる。

[0052] 図6は、この発明に係る光ファイバの構造を説明するための図である。図6中に示された(a)は、光ファイバ100の光軸に垂直な断面構造を示す図であり、図6中に示された(b)は、光ファイバ100の屈折率プロファイルである。この図6中の(a)のように、光ファイバ100は、中心に円形断面を有する外径 $2a$ のコア領域110と、このコア領域110の外周を取り囲むクラッド領域120とを備える。また、図6中の(b)に示された光ファイバ100の屈折率プロファイルにおいて、クラッド領域120に対するコア領域110の比屈折率差は Δn である。

[0053] 光ファイバ100は、石英ガラスを主成分とし、好ましくは、クラッド領域120にフッ素が添加され、コア領域110に GeO_2 が添加されていない純石英ガラスである。この場合、伝送損失を低減する上で好都合である。また、光ファイバ100のケーブルカットオフ波長は1260nm以下である。

[0054] 図7は、この発明に係る光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。光ファイバ100は、石英ガラスを主成分としているため、この図7に示されたように、波長1550nm付近において伝送損失が最小となる。なお、波長1550nmにおける伝送損失を α_{1550} と表す。光ファイバ100において、波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} は0.32dB/km以下であり、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量 $\Delta \alpha_{1380}$ は0.3dB/km以下である。

[0055] この光ファイバ100において、波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} は小さく、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量 $\Delta \alpha_{1380}$ も小さい。さらに、この光ファイバ100は、ケーブルカットオフ波長が1260nm以下であることから、OバンドからLバンドまでの広信号波長帯域において、信号光の低損失かつシングルモードでの伝送を保証する。

[0056] 光ファイバ100において、波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} は0.30dB/km以下であれば更に好ましく、この場合、該波長1310nm付近の信号光を更に低損失で長距離伝送することができる。

- [0057] 光ファイバ100において、波長1380nmにおける伝送損失 α_{1380} は波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} より小さいのが好ましく、この場合、波長1380nm付近の信号光を低損失で長距離伝送する上で好都合である。
- [0058] 光ファイバ100において、波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} から波長1550nmにおける伝送損失 α_{1550} を引いた値 $\Delta\alpha (= \alpha_{1550} - \alpha_{1310})$ は、0.13dB/km以下であるのが好ましい。この場合、両波長間の伝送損失の差が小さいので、広い信号波長帯域において均質な性能の信号光伝送が実現可能になる。
- [0059] 図8は、この発明に係る光ファイバの波長分散の波長依存性を示すグラフである。この図8に示されるように、波長が長いほど、光ファイバ10の波長分散は大きい。また、光ファイバ100の零分散波長 λ_0 は1300nm以上かつ1324nm以下である。この場合、光ファイバ100の零分散波長は、標準的なシングルモード光ファイバと零分散波長と同程度であることから、当該光ファイバ100は、標準的なシングルモード光ファイバとの互換性が優れ、分散補償の点で好都合である。
- [0060] さらに、光ファイバ100において、波長1550nmにおける偏波モード分散は0.5ps/km^{1/2}以下であるのが好ましい。この場合、高ビットレート伝送を行なう際の偏波モード分散に起因した信号光伝送性能の劣化が低減され得る。また、光ファイバ100において、波長1550nmにおける曲げ直径20mmでの曲げ損失は3dB/m以下であるのが好ましい。この場合、コイル状に巻かれて収納される際や引き回しの際にマイクロバンドに起因した損失増加が低減可能になる。また、光ファイバ100において、波長1550nmにおけるPetermann-Iモードフィールド径は10.0 μ m以下であるのが好ましい。この場合、ケーブル化される際のマイクロバンドに起因した損失増加が低減され得る。
- [0061] 次に、この発明に係る光ファイバとして用意された第1サンプル(サンプルA)について、第1比較例(比較例A)とともに説明する。
- [0062] サンプルAの光ファイバは、図6に示された断面構造及び屈折率プロファイルを有し、コア領域が純石英ガラスからなり、クラッド領域がフッ素添加石英ガラスからなる。コア領域の外径2aは7.9 μ mであり、クラッド領域の外径2bは125 μ mである。また、クラッド領域の屈折率を基準としたコア領域の比屈折率差 Δn は0.39%である。これ

に対して、比較例Aに係る光ファイバは、標準的なシングルモード光ファイバであって、コア領域が GeO_2 添加石英ガラスからなり、クラッド領域が純石英ガラスからなる。

[0063] このサンプルAの光ファイバは、以下に説明する製造方法により製造される。すなわち、図9は、この発明に係る光ファイバとして用意される各サンプルの製造方法を説明するための工程図である。図9に示された製造工程では、まず、高純度の石英ガラス棒がVAD法で合成され、このガラス棒が温度約 2000°C の加熱炉内で延伸され、そして、外径3mm、長さ50cmのガラスロッド2が作成される。加えて、純石英ガラスに対する比屈折率差が -0.39% であるフッ素添加石英ガラスからなるガラスパイプ1がVAD法で作成される。なお、このガラスパイプ1は、外径が20mmで、内径が6mmである。

[0064] そして、図9中に示された(a)のように、テープヒータ7が巻かれたガラスパイプ1内にガラスロッド2が挿入された状態で、該ガラスパイプ1の第1端側のパイプ5からガラスパイプ1内に清浄な N_2 ガス(H_2O 含有量が0.5体積ppm以下、その他のH含有ガスの含有量が0.1体積ppm以下)を標準状態(温度 0°C 、1気圧)換算で流量 $2000\text{cc}/\text{min}$ (以下、sccmと表記)だけ流される。一方、ガラスパイプ1の第2端側のパイプ6から真空排気して、ガラスパイプ1の内部の気圧を 2.5kPa とする。このとき、後の不純物除去、封止及び中実化の各工程でガラスパイプ1及びガラスロッド2それぞれのうち温度 550°C 以上に加熱される範囲Aだけでなく、その範囲Aの両外側の長さ200mmの部分を含む範囲Bを、テープヒータ7で温度 200°C に加熱する。加熱範囲Bは、後の中実化工程で温度 550°C 以上に加熱される範囲を含むように設定される。この状態が4時間保持され、上記清浄な N_2 ガスが吹き流し排気される。

[0065] 続いて、図9中に示された(b)のように、ガラスパイプ1の第1端側のパイプ5からガラスパイプ1内に脱金属不純物性ガス(例えば、 Cl_2 、 SOCl_2)が導入され、熱源3によりガラスパイプ1及びガラスロッド2が温度 1150°C に加熱される。これにより、ガラスパイプ1の内壁面及びガラスロッド2の表面それぞれに付着している金属不純物が除去される。

[0066] さらに続いて、図9中に示された(c)のように、ガラスパイプ1の第2端側が熱源3により加熱溶融されることにより、ガラスパイプ1とガラスロッド2とが融着し、矢印Sで示さ

れた領域が封止される。そして、排気配管であるガスライン8を介して真空ポンプにより、ガラスパイプ1の内部が気圧0.01kPa以下の真空状態に減圧される。その後、ガラスパイプ1の第1端側のパイプ5からガラスパイプ1内に清浄な N_2 ガス(H_2O 含有量が0.5体積ppm以下、その他のH含有ガスの含有量が0.1体積ppm以下)が導入される。このとき、真空ポンプを停止することで、ガラスパイプ1の内部が気圧105kPaに加圧される。この減圧及び加圧が3サイクル繰り返されることにより、ガラスパイプ1の内壁面及びガラスロッド2の表面それぞれに吸着しているガス(主に H_2O)が脱離する。

[0067] そして、図9中に示された(d)のように、ガラスパイプ1の第2端側から第1端側に向かって順に熱源3を移動させることにより、ガラスパイプ1とガラスロッド2とが加熱溶融し中実化する(ロッドインコラプス法)。このとき、ガラスパイプ1の内部には、500sccmの Cl_2 ガス及び500sccmの O_2 ガスが導入される。また、ガラスパイプ1の内部の気圧はゲージ圧力で-1kPaであり、中実化時におけるガラスパイプ1の外表面の温度は1600℃である。以上の工程を経て第1プリフォームが得られる。

[0068] この第1プリフォームは、外径が19mmであり、長さが400mmであり、クラッド径とコア径との比が6.6である。さらに、この第1プリフォームを延伸することにより、外径14mmの第2プリフォームが得られる。この外径14mmの第2プリフォームの外周面上に、 H_2/O_2 炎中に $SiCl_4$ を導入して得られた SiO_2 微粒子が、外径120mmになるまで堆積していく。このようにして得られた堆積体は、さらに炉内で温度800℃に加熱される。なお、炉温は昇温速度33℃/分で温度1500℃まで上げられる。この間、15000sccmのHeガス及び450sccmの SF_6 ガスが炉内に導入される。以上のようにしてファイバプリフォームが得られる。そして、このファイバプリフォームを線引きすることで、この発明に係る光ファイバの各サンプルが得られる。

[0069] 図10は、上述のサンプルA及び比較例Aそれぞれに係る光ファイバの諸特性を纏めた表である。また、図11は、サンプルA及び比較例Aそれぞれに係る光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。なお、図11において、実線はサンプルAに係る光ファイバの伝送損失を示し、破線は、比較例Aに係る光ファイバの伝送損失を示す。

- [0070] これら図10及び図11から分かるように、比較例Aの光ファイバは、波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} が0.33dB/kmであり、波長1380nmにおける伝送損失 α_{1380} が0.62dB/kmであり、波長1550nmにおける伝送損失 α_{1550} が0.19dB/kmであり、損失差 $\Delta\alpha (= \alpha_{1550} - \alpha_{1310})$ が0.14dB/kmであり、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量 $\Delta\alpha_{1380}$ が0.31dB/kmである。
- [0071] 一方、サンプルAの光ファイバは、波長1310nmにおける伝送損失 α_{1310} が0.29dB/kmであり、波長1380nmにおける伝送損失 α_{1380} が0.27dB/kmであり、波長1550nmにおける伝送損失 α_{1550} が0.17dB/kmであり、損失差 $\Delta\alpha$ が0.12dB/kmであり、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量 $\Delta\alpha_{1380}$ が0.03dB/kmである。
- [0072] また、サンプルAの光ファイバは、ケーブルカットオフ波長が1220nmであり、零分散波長が1310nmであり、波長1550nmにおけるモードフィールド径が9.7 μm であり、波長1550nmにおける曲げ直径20mmでの曲げ損失が2dB/mである。
- [0073] さらに、サンプルAの光ファイバは、コア領域及びクラッド領域それぞれの非円化が十分に抑制されており、波長1550nmにおける偏波モード分散は、ボビン巻き状態で0.1ps/km^{1/2}以下であり、外力が低減された束取り状態で0.03ps/km^{1/2}以下である。
- [0074] 次に、この発明に係る光ファイバとして用意された第2〜第9サンプル(サンプルB〜I)を、第2比較例(比較例B)と比較しながら詳細に説明する。
- [0075] なお、この発明に係る光ファイバとして用意されたサンプルB〜Iは、図6に示された断面構造及び屈折率プロファイルを有する。すなわち、サンプルB〜Iそれぞれの光ファイバは、外径2aのコア領域と、該コア領域の外周を取り囲むクラッド領域とを備える。コア領域の屈折率は、クラッド領域の屈折率よりも高く、クラッド領域の屈折率を基準としたコア領域の比屈折率差 Δn は正である。
- [0076] これらサンプルB〜Iの光ファイバ1それぞれも、石英ガラスを主成分としており、コア領域及びクラッド領域の双方又はいずれか一方に屈折率調整用の添加物が添加されている。コア領域はGeO₂が添加され、クラッド領域は純石英ガラスからなっているもよいが、好ましくは、コア領域はGeO₂が添加されていない純石英ガラスからなり、ク

ラッド領域はフッ素が添加される。このような組成とすることにより得られる光ファイバの伝送損失を小さくすることができる。

- [0077] 図12は、国際規格 (ITU-T G.652) で規定される標準的なシングルモード光ファイバの波長分散特性を基準として、この発明に係る光ファイバの波長分散特性を示すグラフである。なお、この図12において、グラフG710はこの発明に係る光ファイバの波長分散特性を示し、グラフG720は、国際規格 (ITU-T G.652) で規定される標準的なシングルモード光ファイバの波長分散特性を示している。当該光ファイバは、標準的なシングルモード光ファイバと同様に、零分散波長が波長1300nm付近にあり、波長1200nm〜1700nmの範囲で分散スロープが正である。しかしながら、当該光ファイバは、標準的なシングルモード光ファイバと比較すると、波長1550nmにおいて波長分散が小さく分散スロープも小さい。
- [0078] すなわち、この発明に係る光ファイバにおいて、波長1550nmにおける分散スロープは $0.055\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であり、波長1550nmにおける波長分散は $16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下、より好ましくは $15\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である。また、この発明に係る光ファイバにおいて、ケーブルカットオフ波長は1260nm以下であり、波長1310nmにおけるモードフィールド径は $9\mu\text{m}$ 以下である。
- [0079] あるいは、この発明に係る光ファイバにおいて、波長1310nmにおけるモードフィールド径は $9\mu\text{m}$ 以下であり、零分散波長における分散スロープは $0.082\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下、より好ましくは $0.080\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である。
- [0080] このような光ファイバが光伝送路として適用されることにより、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯の多重化信号光を伝送する場合において高品質の信号伝送が可能になる。また、当該光ファイバは、国際規格 (ITU-T G.652) で規定される標準的なシングルモード光ファイバとの互換性が優れている。すなわち、従来のシングルモード光ファイバが光伝送路に適用された光通信システムの場合と同様に、この発明に係る光ファイバが光伝送路に適用された光通信システムの設計や構築が可能になる。また、従来のシングルモード光ファイバとこの発明に係る光ファイバとが混在する光通信システムの構築も可能になる。
- [0081] 加えて、この発明に係る光ファイバにおいて、波長1550nmにおける伝送損失は0.

176dB/km以下であるのが好ましい。1.55 μ m波長帯の信号光を無中継で長距離伝送する光伝送路が構築可能になるからである。さらに、波長1310nmにおける伝送損失は0.32dB/km以下であり、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量は0.3dB/km以下であるのが好ましい。この場合には、1.55 μ m波長帯だけでなく該1.55 μ m波長帯を含む広帯域の信号光を無中継で長距離伝送する光伝送路が構築可能になる。また、零分散波長は1300nm以上かつ1324nm以下である場合には、国際規格 (ITU-T G.652) で規定される標準的なシングルモード光ファイバとの間で優れた互換性が得られる。

[0082] 次に、図13～図15を用いて、この発明に係る光ファイバとして用意された第2～第9サンプル(サンプルB～I)について説明する。図13は、サンプルB～I及び比較例Bそれぞれに係る光ファイバの諸特性を纏めた表である。サンプルB～Iそれぞれの光ファイバは、図6に示された断面構造及び屈折率プロファイルを有する。すなわち、コア領域が純石英ガラスからなり、クラッド領域がフッ素添加の石英ガラスからなる。一方、比較例Bの光ファイバは、国際規格 (ITU-T G.652) に準拠するシングルモード光ファイバであり、コア領域はGeO₂添加の石英ガラスからなり、クラッド領域は純石英ガラスからなる。

[0083] この図13には、サンプルB～I及び比較例Bの各光ファイバについて、比屈折率差 Δn (%)、コア径 $2a$ (μ m)、ケーブルカットオフ波長 (nm)、波長1310nmにおけるモードフィールド径 (μ m)、零分散波長 (nm)、波長1550nmにおける波長分散 (ps/nm/km)、波長1550nmにおける分散スロープ (ps/nm²/km)、零分散スロープ (ps/nm²/km)、波長1310nmにおける伝送損失 (dB/km)、波長1380nmにおける伝送損失 (dB/km)、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量 (dB/km)、波長1550nmにおける伝送損失 (dB/km)、及びファイバ構造が示されている。

[0084] すなわち、サンプルBの光ファイバは、比屈折率差 Δn が0.38%、コア径 $2a$ が7.80 μ m、ケーブルカットオフ波長が1166nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が8.53 μ m、零分散波長が1318nm、波長1550nmにおける波長分散が14.

97ps/nm/km、波長1550nmにおける分散スロープが0.0540ps/nm²/km、零分散スロープが0.0793ps/nm²/kmである。

- [0085] サンプルCの光ファイバは、比屈折率差 Δn が0.395%、コア径 $2a$ が8.16 μ m、ケーブルカットオフ波長が1230nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が8.60 μ m、零分散波長が1313nm、波長1550nmにおける波長分散が15.46ps/nm/km、波長1550nmにおける分散スロープが0.0544ps/nm²/km、零分散スロープが0.0806ps/nm²/kmである。
- [0086] サンプルDの光ファイバは、比屈折率差 Δn が0.39%、コア径 $2a$ が8.02 μ m、ケーブルカットオフ波長が1200nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が8.57 μ m、零分散波長が1313nm、波長1550nmにおける波長分散が15.39ps/nm/km、波長1550nmにおける分散スロープが0.0537ps/nm²/km、零分散スロープが0.0801ps/nm²/kmである。
- [0087] サンプルEの光ファイバは、比屈折率差 Δn が0.395%、コア径 $2a$ が7.56 μ m、ケーブルカットオフ波長が1135nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が8.37 μ m、零分散波長が1318nm、波長1550nmにおける波長分散が14.86ps/nm/km、波長1550nmにおける分散スロープが0.0531ps/nm²/km、零分散スロープが0.0789ps/nm²/kmである。
- [0088] サンプルFの光ファイバは、比屈折率差 Δn が0.42%、コア径 $2a$ が7.60 μ m、ケーブルカットオフ波長が1260nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が8.33 μ m、零分散波長が1307nm、波長1550nmにおける波長分散が15.75ps/nm/km、波長1550nmにおける分散スロープが0.0536ps/nm²/km、零分散スロープが0.0816ps/nm²/kmである。
- [0089] サンプルGの光ファイバは、比屈折率差 Δn が0.385%、コア径 $2a$ が8.14 μ m、ケーブルカットオフ波長が1184nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が8.72 μ m、零分散波長が1312nm、波長1550nmにおける波長分散が15.90ps/nm/km、波長1550nmにおける分散スロープが0.0547ps/nm²/km、零分散スロープが0.0800ps/nm²/kmである。
- [0090] サンプルHの光ファイバは、比屈折率差 Δn が0.38%、コア径 $2a$ が8.52 μ m、ケ

ケーブルカットオフ波長が1226nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が $8.92\mu\text{m}$ 、零分散波長が1304nm、波長1550nmにおける波長分散が $16.66\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1550nmにおける分散スロープが $0.0548\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、零分散スロープが $0.0819\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。

[0091] サンプルIの光ファイバは、比屈折率差 Δn が0.36%、コア径 $2a$ が $8.10\mu\text{m}$ 、ケーブルカットオフ波長が1133nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が $8.92\mu\text{m}$ 、零分散波長が1317nm、波長1550nmにおける波長分散が $15.39\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1550nmにおける分散スロープが $0.0544\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、零分散スロープが $0.0790\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。

[0092] なお、サンプルB～Fの光ファイバのいずれも、波長1310nmにおける伝送損失は $0.32\text{dB}/\text{km}$ 以下、波長1380nmにおける伝送損失は $0.31\text{dB}/\text{km}$ 、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量は $0.10\text{dB}/\text{km}$ 以下、波長1550nmにおける伝送損失は $0.176\text{dB}/\text{km}$ 以下である。また、いずれの光ファイバも、純石英コアとF添加クラッドを備える。

[0093] 一方、比較例Bの光ファイバは、ケーブルカットオフ波長が1158nm、波長1310nmにおけるモードフィールド径が $9.13\mu\text{m}$ 、零分散波長が1316nm、波長1550nmにおける波長分散が $16.50\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長1550nmにおける分散スロープが $0.0584\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、零分散スロープが $0.0850\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。また、波長1310nmにおける伝送損失は $0.33\text{dB}/\text{km}$ 以下、波長1380nmにおける伝送損失は $0.62\text{dB}/\text{km}$ であり、波長1380nmにおけるOH基に起因した損失増加量は $0.31\text{dB}/\text{km}$ 以下であり、波長1550nmにおける伝送損失は $0.19\text{dB}/\text{km}$ 以下である。この比較例Bの光ファイバは、Ge添加コアと純石英クラッドを備える。

[0094] 図14は、波長1310nmにおけるモードフィールド径MFDを横軸としケーブルカットオフ波長 λ_{cc} を縦軸とする2次元空間上において、サンプルB～F及び比較例Bそれぞれの光ファイバの(MFD, λ_{cc})の位置を示すとともに、波長1550nmにおける等波長分散曲線をも示すグラフである。なお、この図14において、記号▲B～▲Fは、サンプルB～Fの光ファイバの(MFD, λ_{cc})を示し、記号△Bは、比較例Bの光ファイバの(MFD, λ_{cc})を示す。また、グラフG910は波長分散が $17\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下で

ある標準的なシングルモード光ファイバの等波長分散曲線、グラフG920は波長分散が $16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である標準的なシングルモード光ファイバの等波長分散曲線、グラフG930は波長分散が $15\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である標準的なシングルモード光ファイバの等波長分散曲線を示している。一方、グラフG940波長分散が $16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である純石英コアを有するファイバの等波長分散曲線、グラフG950波長分散が $16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である純石英コアを有する光ファイバの等波長分散曲線を示している。

- [0095] この図14から分かるように、比較例Bの光ファイバと比較して、各サンプルの光ファイバは、MFD及び λ_{cc} が同じであっても、波長分散が小さい。
- [0096] 図15は、波長 1310nm におけるモードフィールド径MFDを横軸としケーブルカットオフ波長 λ_{cc} を縦軸とする2次元空間上において、サンプルB〜F及び比較例Bそれぞれの光ファイバの(MFD , λ_{cc})の位置を示すとともに、波長 1550nm における等分散スロープ曲線をも示すグラフである。なお、この図15中において、記号▲B〜▲Fは、サンプルB〜Fの光ファイバ(MFD , λ_{cc})を示し、記号△Bは、比較例Bの光ファイバの(MFD , λ_{cc})を示す。また、グラフ1010は分散スロープが $0.055\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である標準的なシングルモード光ファイバの等分散スロープ曲線、グラフ1020は分散スロープが $0.059\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である標準的なシングルモード光ファイバの等分散スロープ曲線を示す。一方、グラフ1030は分散スロープが $0.055\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である純石英コアを有する光ファイバの等分散スロープ曲線を示す。この図15から分かるように、比較例Bの光ファイバと比較して、各サンプルの光ファイバは、MFD及び λ_{cc} が同じであっても、分散スロープが小さい。
- [0097] 以上のように、波長 1310nm におけるモードフィールド径MFDが $9\mu\text{m}$ 以下である、上述のようなこの発明に係る光ファイバは、国際規格(ITU-T G.652)に準拠する GeO_2 添加の石英系光ファイバと比較して、ケーブルカットオフ波長 λ_{cc} 及び波長 1310nm におけるモードフィールド径MFDが同じであっても、波長 1550nm における波長分散及び波長 1550nm における分散スロープが小さい。

産業上の利用可能性

- [0098] この発明に係る光伝送は、低損失の長距離伝送路に適用可能であり、この発明に

係る光ファイバは、複数チャネルの信号光を伝送可能なWDM光通信システムの伝送媒体として、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯のみならず $1.55\mu\text{m}$ 波長帯の光通信に適用可能である。

請求の範囲

- [1] 第1光ファイバと第2光ファイバとを光学的に接続することにより光伝送路を構成する方法であって、
- 波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバのレイリ散乱係数をA1とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径をB1とし、前記第2光ファイバのレイリ散乱係数をA2とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径をB2としたとき、接続されるべき前記第1及び第2光ファイバ間において以下の式で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が0.03dB/km/ μm^4 より大きい関係が満たされるよう、前記第1光ファイバ及び前記第2光ファイバの少なくとも一方を選択し、そして、
- [数7]

$$X = 1 - 10^{-A1/\lambda^4/10}$$

$$Y = 1 - 10^{-A2/\lambda^4/10}$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right|$$

前記関係を満たしている前記第1光ファイバと前記第2光ファイバとを光学的に接続する光伝送路構成方法。

- [2] 第1光ファイバと第2光ファイバとを接続することにより光伝送路を構成する方法であって、
- 波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバのレイリ散乱係数をA1とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径をB1とし、前記第2光ファイバのレイリ散乱係数をA2とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径をB2としたとき、接続されるべき前記第1及び第2光ファイバ間において、以下の式で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、比(B2/B1)の値が0.97以下である関係が満たされるよう、前記第1光ファイバ及び前記第2光ファイバの少なくとも一方を選択し、そして、

[数8]

$$X = 1 - 10^{-A1/\lambda^4/10}$$

$$Y = 1 - 10^{-A2/\lambda^4/10}$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right|$$

前記関係を満たしている前記第1光ファイバと前記第2光ファイバとを接続する光伝送路構成方法。

- [3] 第1光ファイバと第2光ファイバとを接続することにより光伝送路を構成する方法であって、

波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバのレイリ散乱係数をA1とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径をB1とし、前記第2光ファイバのレイリ散乱係数をA2とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径をB2としたとき、接続されるべき前記第1及び第2光ファイバ間において、以下の式で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が0.08dB/km/ μm^4 以上であり、比(B2/B1)の値が0.97以下である関係が満たされるよう、前記第1光ファイバ及び前記第2光ファイバの少なくとも一方を選択し、そして、

[数9]

$$X = 1 - 10^{-A1/\lambda^4/10}$$

$$Y = 1 - 10^{-A2/\lambda^4/10}$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right|$$

前記関係を満たしている前記第1光ファイバと前記第2光ファイバとを接続する光伝送路構成方法。

- [4] 互いに接続された第1光ファイバと第2光ファイバとを備えた光伝送路であって、

前記第1及び第2光ファイバは、波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバのレイリ散乱係数をA1とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径をB1とし、前記第2光ファイバのレイリ散乱係数をA2とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径をB2としたとき、以下の式で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が0.03dB/km/ μm^4 より大きい関係を満たしている光伝送路。

[数10]

$$X = 1 - 10^{-A1/\lambda^4/10}$$

$$Y = 1 - 10^{-A2/\lambda^4/10}$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right|$$

- [5] 互いに接続された第1光ファイバと第2光ファイバとを備えた光伝送路であって、前記第1及び第2光ファイバは、波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバのレイリ散乱係数をA1とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径をB1とし、前記第2光ファイバのレイリ散乱係数をA2とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径をB2としたとき、以下のなる式で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、比(B2/B1)の値が0.97以下である関係を満たしている光伝送路。

[数11]

$$X = 1 - 10^{-A1/\lambda^4/10}$$

$$Y = 1 - 10^{-A2/\lambda^4/10}$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right|$$

- [6] 互いに接続された第1光ファイバと第2光ファイバとを備えた光伝送路であって、前記第1及び第2光ファイバは、波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれ

かの波長 λ において、前記第1光ファイバのレイリ散乱係数をA1とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径をB1とし、前記第2光ファイバのレイリ散乱係数をA2とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径をB2としたとき、以下の式で表されるパラメータKの値が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が0.08dB/km/ μm^4 以上であり、比(B2/B1)の値が0.97以下である関係を満たしている光伝送路。
[数12]

$$X = 1 - 10^{-A1/\lambda^4/10}$$

$$Y = 1 - 10^{-A2/\lambda^4/10}$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right|$$

- [7] 互いに接続された第1光ファイバと第2光ファイバとを備えた光伝送路であって、前記第1及び第2光ファイバは、波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバのレイリ散乱係数をA1とし、前記第2光ファイバのレイリ散乱係数をA2としたとき、OTDR試験による接続損失測定の実差が0.2dB以下であって、A1とA2との差の絶対値が0.03dB/km/ μm^4 より大きい関係を満たしている光伝送路。
- [8] 互いに接続された第1光ファイバと第2光ファイバとを備えた光伝送路であって、前記第1及び第2光ファイバは、波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバのモードフィールド径をB1とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径をB2としたとき、OTDR試験による接続損失測定の実差が0.2dB以下であって、比(B2/B1)の値が0.97以下である関係を満たしている光伝送路。
- [9] 互いに接続された第1光ファイバと第2光ファイバとを備えた光伝送路であって、前記第1及び第2光ファイバは、波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバのレイリ散乱係数をA1とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径をB1とし、前記第2光ファイバのレイリ散乱係数をA2とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径をB2としたとき、OTDR試験による接続損

失測定の影響が0.2dB以下であって、 A_1 と A_2 との差の絶対値が $0.08\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ 以上であり、比 (B_2/B_1) の値が0.97以下である関係を満たしている光伝送路。

- [10] 第1光ファイバと第2光ファイバとを接続することにより光伝送路を構成する方法であって、

波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバの伝送損失を α_1 とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径を B_1 とし、前記第2光ファイバの伝送損失を α_2 とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径を B_2 としたとき、前記第1及び第2光ファイバの間において、以下の式で表されるパラメータ K の値が0.2dB以下であって、 α_1 と α_2 との差の絶対値が $0.03/\lambda^4\text{dB}/\text{km}$ 以上である関係が満たされるよう、前記第1光ファイバ及び前記第2光ファイバの少なくとも一方を選択し、そして、

[数13]

$$X = 1 - 10^{-(\alpha_1 - 0.02)/10}$$

$$Y = 1 - 10^{-(\alpha_2 - 0.02)/10}$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B_2}{B_1} \right) \right|$$

前記関係を満たしている前記第1光ファイバと前記第2光ファイバとを接続する光伝送路構成方法。

- [11] 第1光ファイバと第2光ファイバとを接続することにより光伝送路を構成する方法であって、

波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバの伝送損失を α_1 とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径を B_1 とし、前記第2光ファイバの伝送損失を α_2 とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径を B_2 としたとき、前記第1及び第2光ファイバの間において、以下の式で表されるパラメータ K の値が0.2dB以下であって、 α_1 と α_2 との差の絶対値が $0.08/\lambda^4\text{dB}/\text{km}$ 以上であり、比 (B_2/B_1) の値が0.97以下である関係が満たされるよう、前記

第1光ファイバ及び前記第2光ファイバの少なくとも一方を選択し、

[数14]

$$X = 1 - 10^{-(\alpha 1 - 0.02)/10}$$

$$Y = 1 - 10^{-(\alpha 2 - 0.02)/10}$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right|$$

前記関係を満たしている前記第1光ファイバと前記第2光ファイバとを接続する光伝送路構成方法。

- [12] 互いに接続された第1光ファイバと第2光ファイバとを備えた光伝送路であって、前記第1及び第2光ファイバは、波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバの伝送損失を $\alpha 1$ とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径を $B1$ とし、前記第2光ファイバの伝送損失を $\alpha 2$ とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径を $B2$ としたとき、以下の式で表されるパラメータ K の値が0.2dB以下であって、 $\alpha 1$ と $\alpha 2$ との差の絶対値が $0.03/\lambda^4$ dB/km以上である関係を満たしている光伝送路。

[数15]

$$X = 1 - 10^{-(\alpha 1 - 0.02)/10}$$

$$Y = 1 - 10^{-(\alpha 2 - 0.02)/10}$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right|$$

- [13] 互いに接続された第1光ファイバと第2光ファイバとを備えた光伝送路であって、前記第1及び第2光ファイバは、波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバの伝送損失を $\alpha 1$ とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径を $B1$ とし、前記第2光ファイバの伝送損失を $\alpha 2$ とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径を $B2$ としたとき、以下の式で表されるパラメータ K の

値が0.2dB以下であって、 $\alpha 1$ と $\alpha 2$ との差の絶対値が $0.08/\lambda^4$ dB/km以上であり、比 $(B2/B1)$ の値が0.97以下である関係を満たしている光伝送路。

[数16]

$$X = 1 - 10^{-(\alpha 1 - 0.02)/10}$$

$$Y = 1 - 10^{-(\alpha 2 - 0.02)/10}$$

$$K = \left| 5 \log_{10} \left(\frac{X}{Y} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{B2}{B1} \right) \right|$$

- [14] 互いに接続された第1光ファイバと第2光ファイバとを備えた光伝送路であって、前記第1及び第2光ファイバは、波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバの伝送損失を $\alpha 1$ とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径を $B1$ とし、前記第2光ファイバの伝送損失を $\alpha 2$ とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径を $B2$ としたとき、OTDR試験による接続損失測定の誤差が0.2dB以下であって、 $\alpha 1$ と $\alpha 2$ との差の絶対値が $0.03/\lambda^4$ dB/kmより大きい関係を満たしている光伝送路。
- [15] 互いに接続された第1光ファイバと第2光ファイバとを備えた光伝送路であって、前記第1及び第2光ファイバは、波長範囲1260nm～1625nmに含まれるいずれかの波長 λ において、前記第1光ファイバの伝送損失を $\alpha 1$ とし、前記第1光ファイバのモードフィールド径を $B1$ とし、前記第2光ファイバの伝送損失を $\alpha 2$ とし、前記第2光ファイバのモードフィールド径を $B2$ としたとき、OTDR試験による接続損失測定の誤差が0.2dB以下であって、 $\alpha 1$ と $\alpha 2$ との差の絶対値が $0.08/\lambda^4$ dB/km以上であり、比 $(B2/B1)$ の値が0.97以下である関係を満たしている光伝送路。
- [16] 請求項1記載の光伝送路構成方法において、前記第1光ファイバのレイリ散乱係数 $A1$ は、 $0.94\text{dB/km}/\mu\text{m}^4 \sim 1.00\text{dB/km}/\mu\text{m}^4$ であり、前記第2光ファイバのレイリ散乱係数 $A2$ は、 $0.84\text{dB/km}/\mu\text{m}^4 \sim 0.90\text{dB/km}/\mu\text{m}^4$ であり、波長1310nmにおける前記第1光ファイバのモードフィールド径 $B1$ は $9.0\mu\text{m} \sim 9.5\mu\text{m}$ であり、そして、波長1310nmにおける前記第2光ファイバのモードフィールド径 $B2$ は、 $8.3\mu\text{m} \sim 9.0\mu\text{m}$ である。

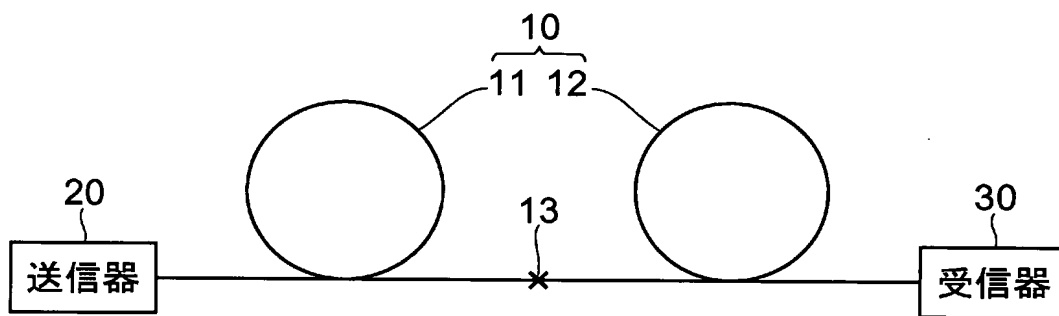
- [17] 請求項4記載の光伝送路において、
前記第1光ファイバのレイリ散乱係数 A_1 は、 $0.94\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4 \sim 1.00\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ であり、前記第2光ファイバのレイリ散乱係数 A_2 は、 $0.84\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4 \sim 0.90\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ であり、波長 1310nm における前記第1光ファイバのモードフィールド径 B_1 は、 $9.0\mu\text{m} \sim 9.5\mu\text{m}$ であり、波長 1310nm における前記第2光ファイバのモードフィールド径 B_2 は $8.3\mu\text{m} \sim 9.0\mu\text{m}$ である。
- [18] 所定軸に沿って伸びたコア領域と該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えた、石英ガラスを主成分とする光ファイバであって、
 $0.84\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4 \sim 0.90\text{dB}/\text{km}/\mu\text{m}^4$ のレイリ散乱係数と、そして、
波長 1310nm において $8.3\mu\text{m} \sim 9.0\mu\text{m}$ のモードフィールド径を有する光ファイバ。
- [19] 請求項10記載の光伝送路構成方法において、
波長 1310nm における前記第1光ファイバの伝送損失 α_1 は、 $0.32\text{dB}/\text{km} \sim 0.35\text{dB}/\text{km}$ であり、波長 1310nm における前記第2光ファイバの伝送損失 α_2 は、 $0.28\text{dB}/\text{km} \sim 0.32\text{dB}/\text{km}$ であり、波長 1310nm における前記第1光ファイバのモードフィールド径 B_1 は、 $9.0\mu\text{m} \sim 9.5\mu\text{m}$ であり、そして、波長 1310nm における前記第2光ファイバのモードフィールド径 B_2 は、 $8.3\mu\text{m} \sim 9.0\mu\text{m}$ である。
- [20] 請求項12記載の光伝送路において、
波長 1310nm における前記第1光ファイバの伝送損失 α_1 は、 $0.32\text{dB}/\text{km} \sim 0.35\text{dB}/\text{km}$ であり、波長 1310nm における前記第2光ファイバの伝送損失 α_2 は、 $0.28\text{dB}/\text{km} \sim 0.32\text{dB}/\text{km}$ であり、波長 1310nm における前記第1光ファイバのモードフィールド径 B_1 は、 $9.0\mu\text{m} \sim 9.5\mu\text{m}$ であり、そして、波長 1310nm における前記第2光ファイバのモードフィールド径 B_2 は、 $8.3\mu\text{m} \sim 9.0\mu\text{m}$ である。
- [21] 所定軸に沿って伸びたコア領域と該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備えた、石英ガラスを主成分とする光ファイバであって、
波長 1310nm において $0.28\text{dB}/\text{km}$ 以上かつ $0.32\text{dB}/\text{km}$ 以下の、伝送損失と、そして、
波長 1310nm において $8.3\mu\text{m}$ 以上かつ $9.0\mu\text{m}$ 以下のモードフィールド径を有

する光ファイバ。

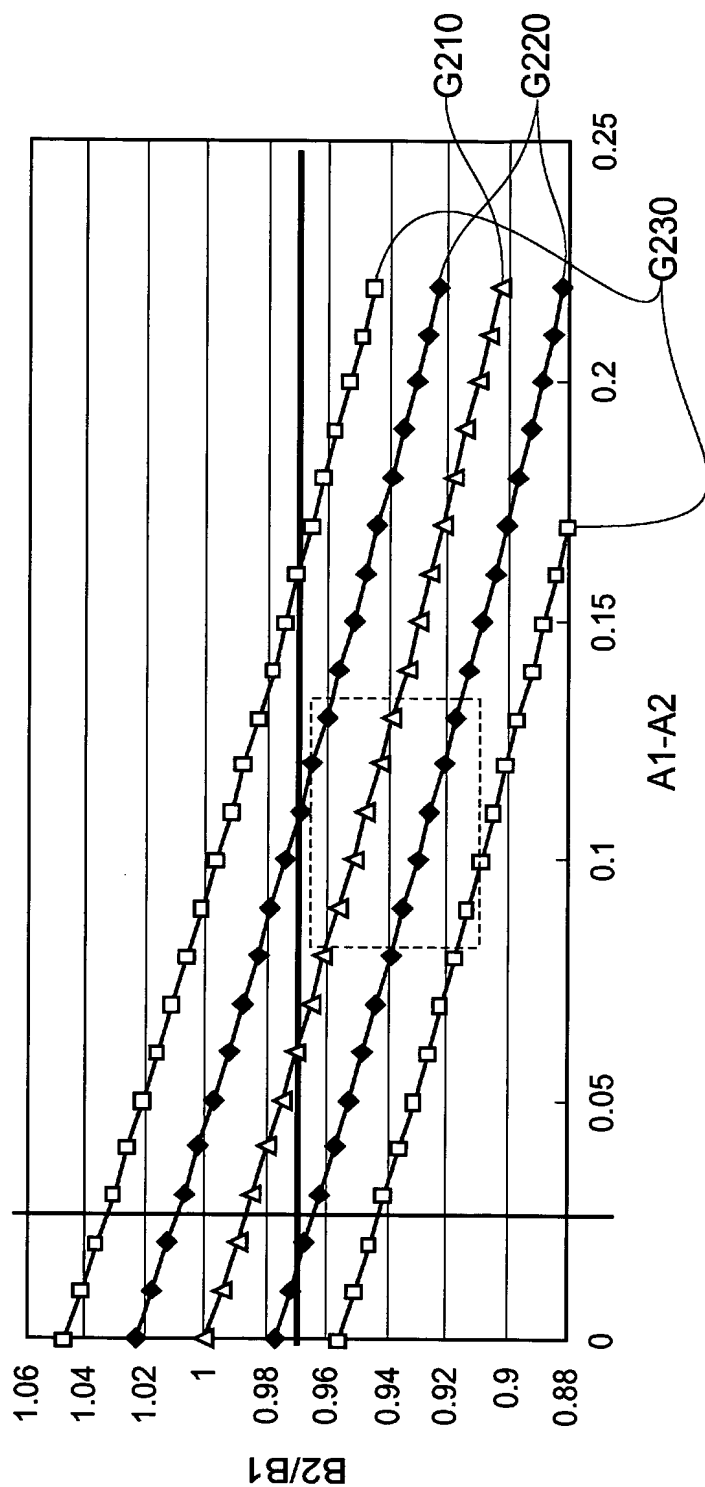
- [22] 請求項21記載の光ファイバは、さらに、
1260nm以下のケーブルカットオフ波長と、そして、
波長1380nmにおいて0.3dB/km以下のOH基に起因した損失増加量を有する。
- [23] 請求項22記載の光ファイバにおいて、
波長1310nmにおける伝送損失は、0.30dB/km以下である。
- [24] 請求項22記載の光ファイバにおいて、
波長1380nmにおける伝送損失は、波長1310nmにおける伝送損失より小さい。
- [25] 請求項22記載の光ファイバにおいて、
波長1310nmにおける伝送損失から波長1550nmにおける伝送損失を引いた値は、0.13dB/km以下である。
- [26] 請求項22記載の光ファイバは、さらに、
1300nm以上かつ1324nm以下の零分散波長を有する。
- [27] 請求項22記載の光ファイバは、さらに、
波長1550nmにおいて $0.5\text{ps}/\text{km}^{1/2}$ 以下の偏波モード分散を有する。
- [28] 請求項22記載の光ファイバは、さらに、
波長1550nmにおいて3dB/m以下の曲げ直径20mmでの曲げ損失を有する。
- [29] 請求項22記載の光ファイバは、さらに、
波長1550nmにおいて $10.0\mu\text{m}$ 以下のPetermann-Iモードフィールド径を有する光ファイバ。
- [30] 請求項21記載の光ファイバは、さらに、
1260nm以下のケーブルカットオフ波長と、そして、
波長1550nmにおいて $0.055\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープを有する。
- [31] 請求項30記載の光ファイバは、さらに、
波長1550nmにおいて $16\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の波長分散を有する。
- [32] 請求項31記載の光ファイバにおいて、
前記波長1550nmにおける波長分散は、 $15\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である。

- [33] 請求項21記載の光ファイバは、さらに、
零分散波長において $0.082\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下の分散スロープを有する。
- [34] 請求項33記載の光ファイバにおいて、
前記零分散波長における分散スロープは、 $0.080\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である。
- [35] 請求項30又は33記載の光ファイバは、さらに、
波長 1550nm において $0.176\text{dB}/\text{km}$ 以下の伝送損失を有する。
- [36] 請求項30又は33記載の光ファイバは、さらに、
波長 1310nm において $0.32\text{dB}/\text{km}$ 以下の伝送損失を有するとともに、波長 1380nm において $0.3\text{dB}/\text{km}$ 以下の、OH基に起因した損失増加量を有する。
- [37] 請求項30又は33記載の光ファイバは、さらに、
 1300nm 以上かつ 1324nm 以下の零分散波長を有する。
- [38] 請求項22、30及び33のいずれか一項記載の光ファイバにおいて、
前記クラッド領域には、フッ素が添加されている。
- [39] 請求項38記載の光ファイバにおいて、
前記コア領域は、 GeO_2 を含まない。
- [40] 請求項22、30及び33のいずれか一項記載の光ファイバにおいて、
前記コア領域は、 $7.5\mu\text{m}$ 以上かつ $8.6\mu\text{m}$ 以下の外径を有するとともに、前記クラッド領域に対する前記コア領域の比屈折率差は、 0.36% 以上かつ 0.42% 以下である。

[図1]



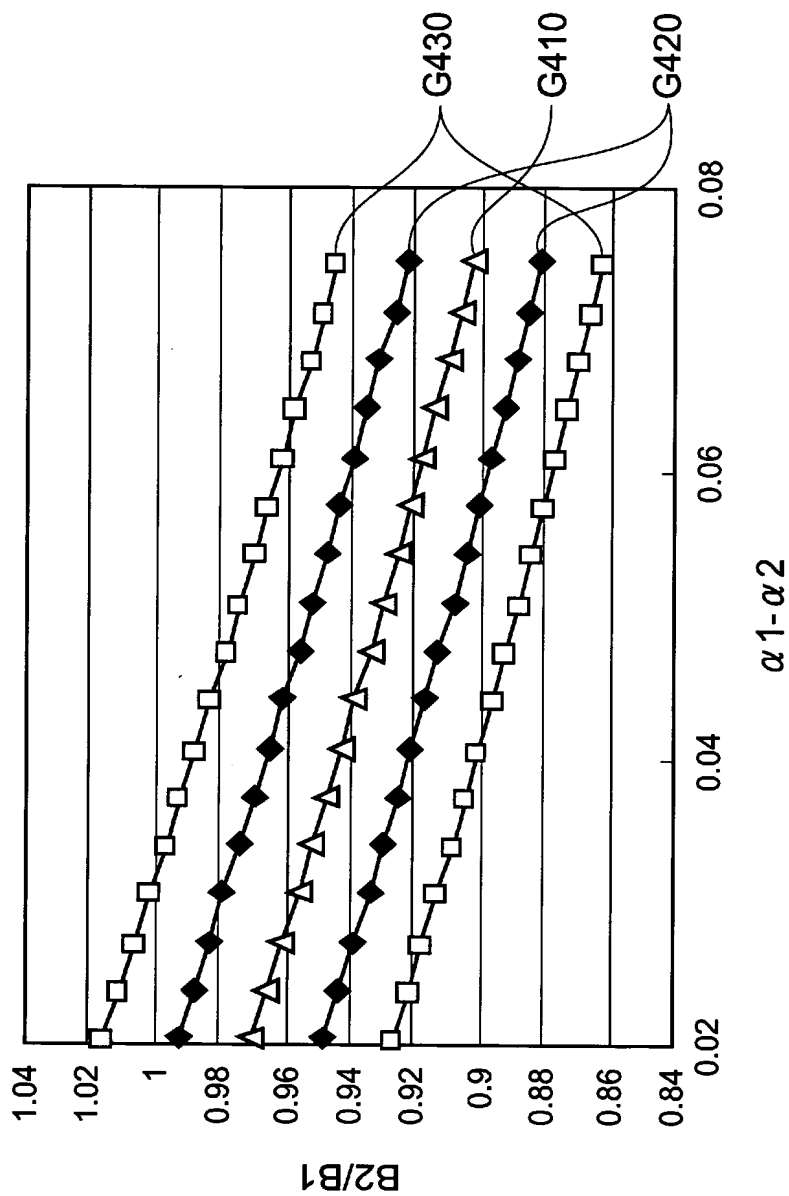
[図2]



[図3]

サンプル	A1 (dB/km・ μm^4)	A2 (dB/km・ μm^4)	A1-A2 (dB/km・ μm^4)	B1 (μm)	B2 (μm)	B2/B1	K値 (dB)
1	1.07	0.94	0.13	10.35	10.10	0.98	0.17
2	0.94	0.87	0.07	10.35	10.10	0.95	0.06
3	1.12	0.94	0.18	10.35	9.80	0.95	0.14
4	1.10	0.94	0.16	10.35	9.60	0.93	0.01
5	1.13	0.94	0.19	10.35	9.80	0.95	0.15
6	0.98	0.87	0.11	10.40	9.80	0.94	0.01
サンプル	A1 (dB/km・ μm^4)	A2 (dB/km・ μm^4)	A1-A2 (dB/km・ μm^4)	B1 (μm)	B2 (μm)	B2/B1	測定誤差 (dB)
7	1.06	0.94	0.12	10.35	10.21	0.98	0.19
8	0.92	0.87	0.05	10.35	10.10	0.95	0.01
9	1.10	0.94	0.16	10.35	10.03	0.97	0.19
10	1.07	0.94	0.13	10.35	9.93	0.96	0.09
11	1.11	0.94	0.17	10.35	9.99	0.97	0.20
12	1.08	0.94	0.14	10.35	9.89	0.96	0.09

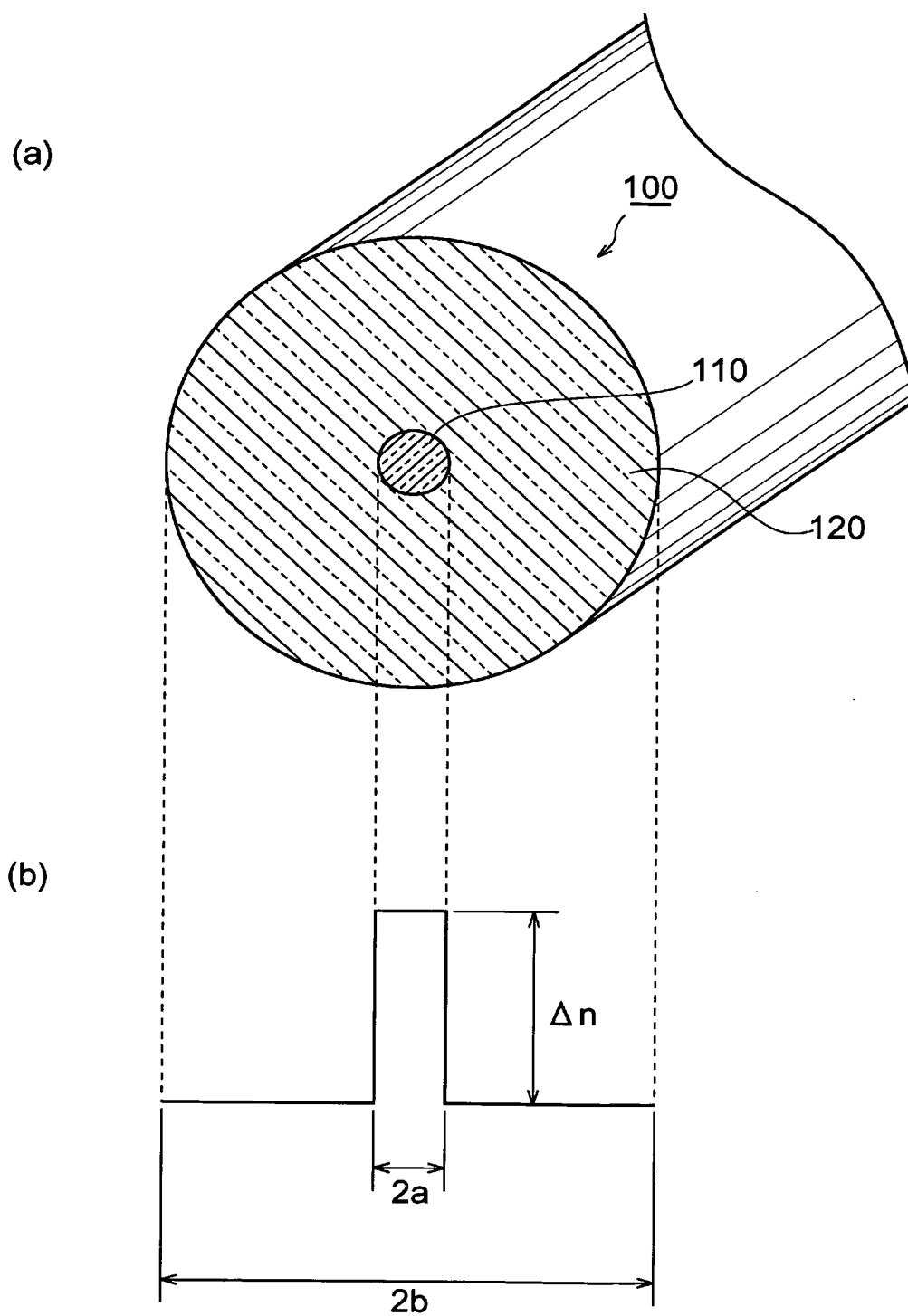
[図4]



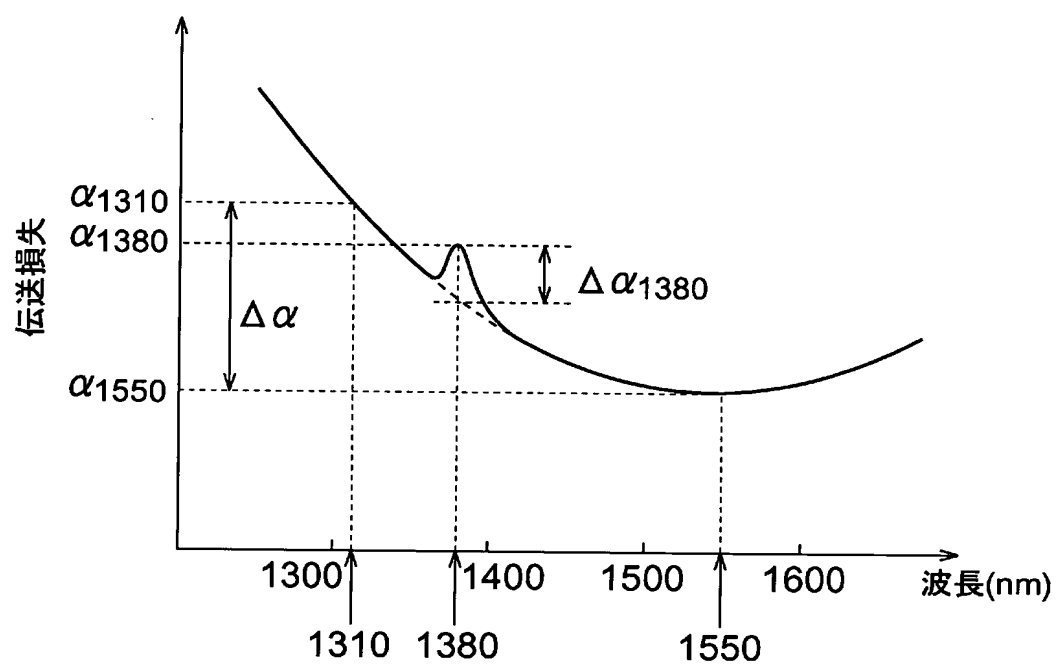
[図5]

サンプル	$\alpha 1$ (dB/km)	$\alpha 2$ (dB/km)	$\alpha 1-\alpha 2$ (dB/km)	B1 (μ m)	B2 (μ m)	B2/B1	K値 (dB)
13	0.325	0.305	0.020	9.13	8.61	0.94	0.11
14	0.339	0.309	0.031	8.95	8.55	0.96	0.01
15	0.339	0.307	0.032	9.20	8.40	0.91	0.17
16	0.353	0.315	0.037	9.13	8.61	0.94	0.01
サンプル	$\alpha 1$ (dB/km)	$\alpha 2$ (dB/km)	$\alpha 1-\alpha 2$ (dB/km)	B1 (μ m)	B2 (μ m)	B2/B1	測定誤差 (dB)
17	0.339	0.317	0.022	9.20	8.50	0.92	0.19
18	0.339	0.315	0.024	9.15	8.65	0.95	0.08
19	0.339	0.314	0.025	9.10	8.40	0.92	0.17
20	0.339	0.312	0.027	9.05	8.60	0.95	0.04

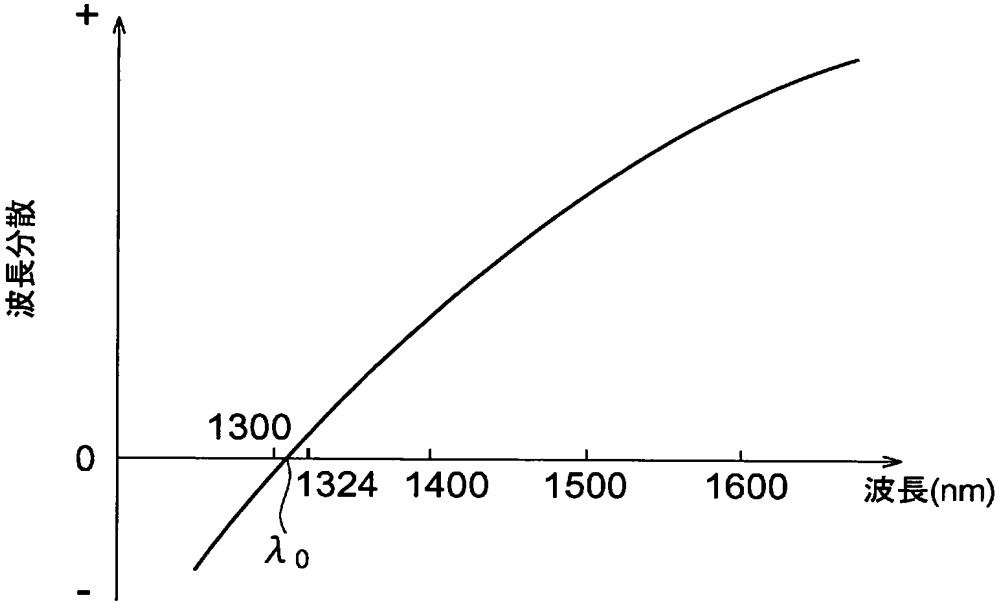
[図6]



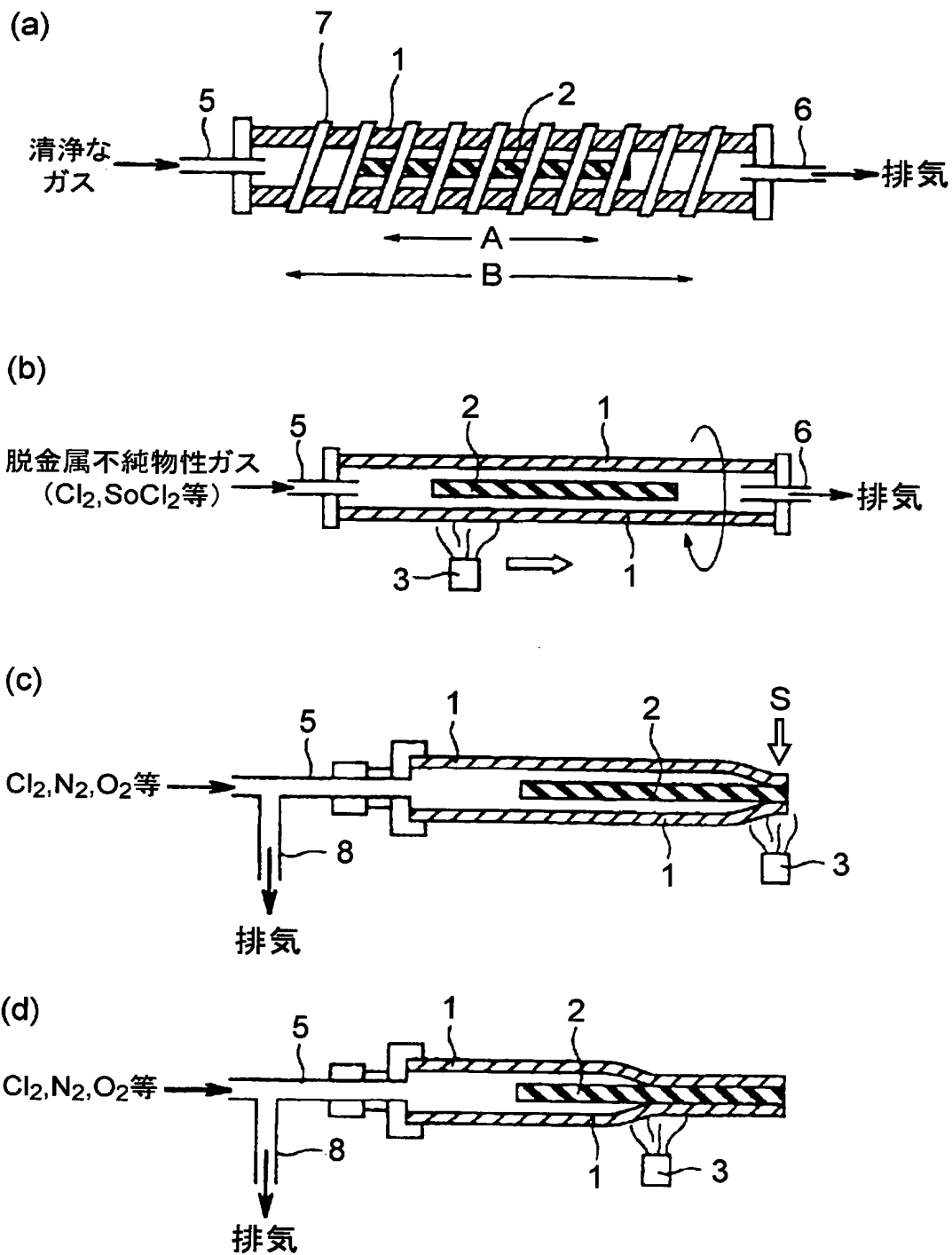
[図7]



[図8]



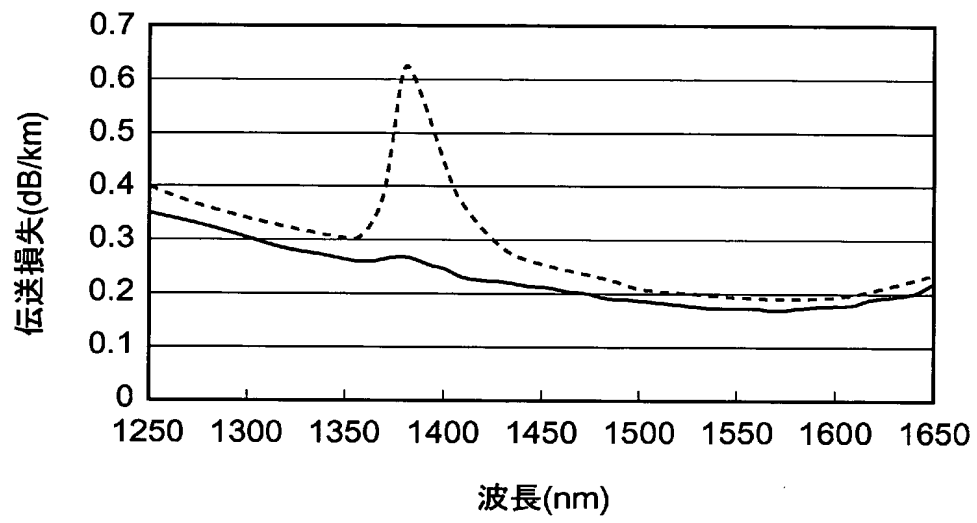
[図9]



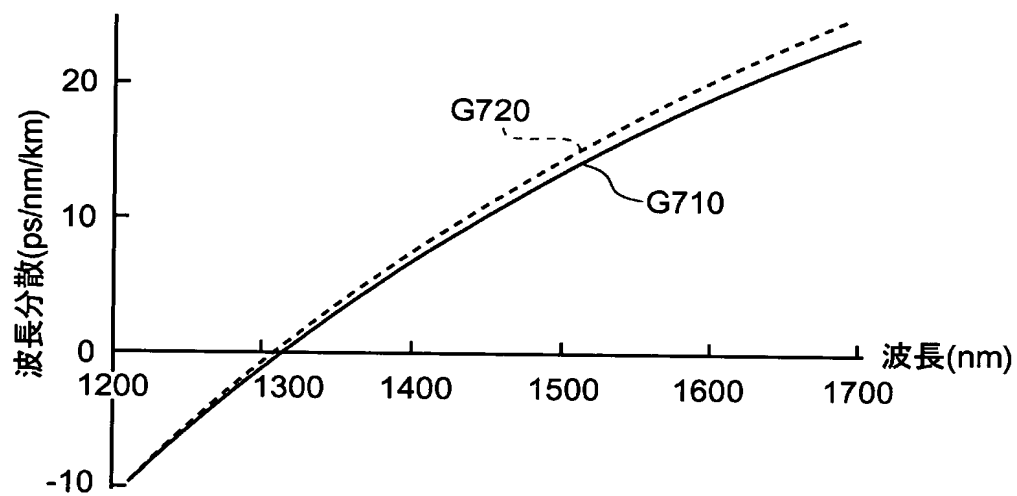
[図10]

	サンプルA	比較例A
伝送損失 α_{1310}	(dB/km) 0.29	0.33
伝送損失 α_{1380}	(dB/km) 0.27	0.62
伝送損失 α_{1550}	(dB/km) 0.17	0.19
損失差 $\Delta \alpha (= \alpha_{1550} - \alpha_{1310})$	(dB/km) 0.12	0.14
OH基に因る損失増加量 $\Delta \alpha_{1380}$	(dB/km) 0.03	0.31
ケーブルカットオフ波長	(nm) 1220	
零分散波長	(nm) 1310	
モードフィールド径(波長1550nm)	(μm) 9.7	
曲げ損失(波長1550nm 曲げ直径 20mm)	(dB/m) 2	

[図11]



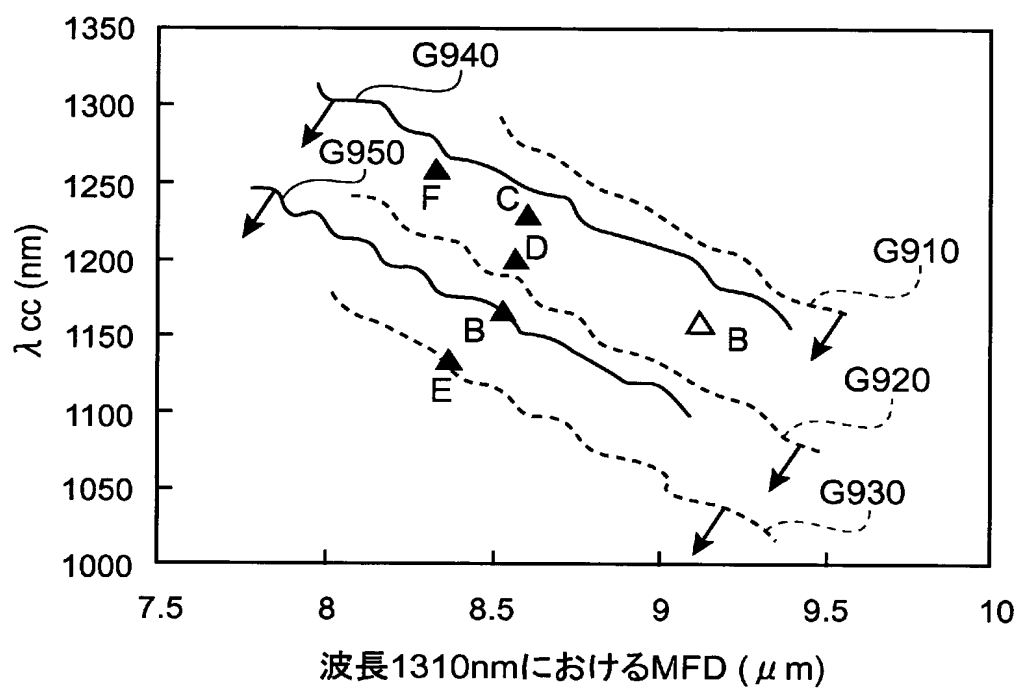
[図12]



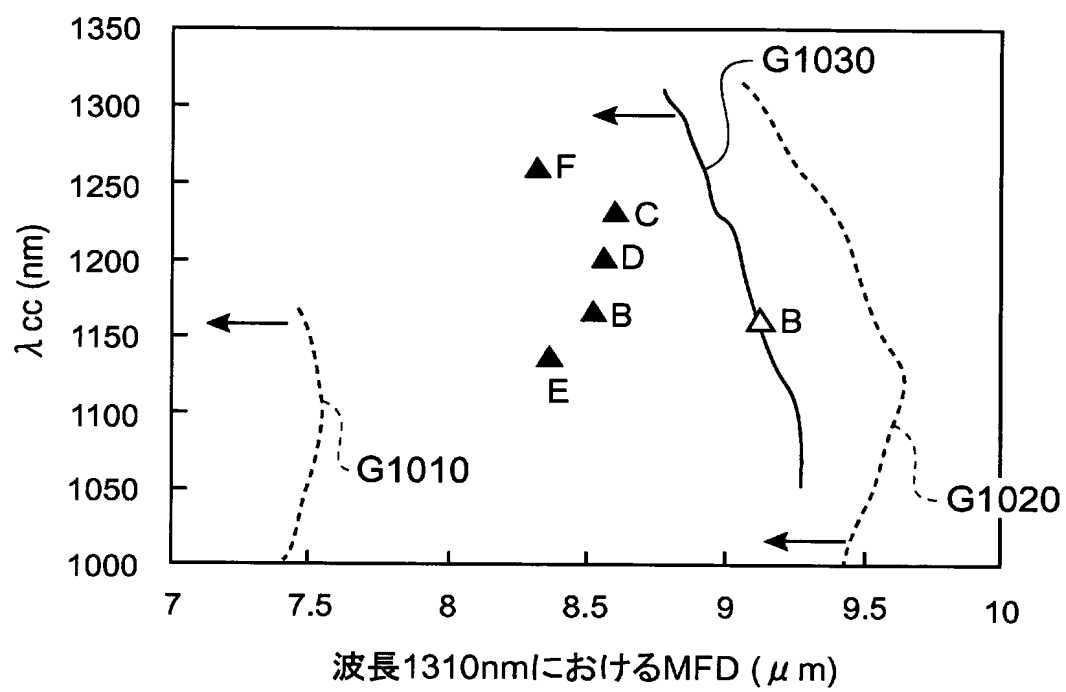
[図13]

	Δn	2a (μm)	ケーブル カットオフ 波長 (nm)	1310nm MFD (μm)	零分散 波長 (nm)	1550nm における 分散波長 (psnm/km)	1550nm における 分散 スロープ (psnm ² /km)	零分散 スロープ (psnm ² /km)	1310nm における 伝送損失 (dB/km)	1380nm における 伝送損失 (dB/km)	1380nm における OH損失 増加量 (dB/km)	1550nm における 伝送損失 (dB/km)	ファイバ 構造 (コア材質/ クラッド 材質)
サンプルB	0.38	7.80	1166	8.53	1318	14.97	0.0540	0.0793	≤ 0.32	≤ 0.31	≤ 0.10	≤ 0.176	純石英 ガラス/ フッ素 添加 ガラス
サンプルC	0.935	8.16	1230	8.06	1313	15.46	0.0544	0.0806					
サンプルD	0.39	8.02	1200	8.57	1313	15.39	0.0537	0.0801					
サンプルE	0.395	7.56	1135	8.37	1318	14.86	0.0531	0.0789					
サンプルF	0.42	7.60	1260	8.33	1307	15.75	0.0536	0.0816					
サンプルG	0.385	8.14	1184	8.72	1312	15.90	0.0547	0.0800					
サンプルH	0.38	8.52	1226	8.92	1304	16.66	0.0548	0.0819					
サンプルB	0.36	8.10	1133	8.92	1317	15.39	0.0544	0.0790					
比較例B	-	-	1158	9.13	1316	16.50	0.0584	0.0850	0.33	0.62	0.31	0.19	Ge添加 ガラス/ 純石英 ガラス

[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011164

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B6/10, G02B6/24, H04B10/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B6/10, G02B6/24, H04B10/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JOIS (JSTPLUS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	NAKAHIRA, M. et al., Measurement of Optical Fiber Loss and Splice Loss by Backscatter Method., In: THE TRANSACTIONS OF THE IECE OF JAPAN, October, 1980, Vol.E63, No.10, pages 762 to 767, (particularly, '2.2 Experimental Equipment', '5.Splice Loss Measurement')	1-20
X	Mizuho NAKAHIRA et al., 'Koho Sakuranho ni yoru Hikari Fiber no Sonshitsu Sokutei', Electrical Communication Laboratories Technical Journal, 1980 Nen, Vol.29, No.11, pages 1851 to 1860 (particularly, '3 Sokuteikei no Kosei', '6 Setsuzoku Sonshitsu Sokuteiho no Kento')	1-20

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
09 November, 2004 (09.11.04)Date of mailing of the international search report
22 November, 2004 (22.11.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011164

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	LEE, B.C. et al., The Study on the Splice Loss Measurement by Uni-Directional OTDR and its Error Factors., In: Communication Cables and Related Technologies, 1998, pages 291 to 296	1-20
A	JP 2002-303741 A (Shin-Etsu Chemical Co., Ltd.), 18 October, 2002 (18.10.02), Par. Nos. [0003] to [0008], [0025] & EP 1247783 A2 & US 2002/176675 A1	1-20
Y	JP 2003-511736 A (Corning Inc.), 25 March, 2003 (25.03.03), Full text; all drawings (particularly, tables 1, Fig. 4) & WO 2001/027667 A2	21-40
Y	JP 2003-84163 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 19 March, 2003 (19.03.03), Full text; all drawings (particularly, Claim 4; Figs. 8, 19) & US 2003/147610 A1	21-40
Y	WO 2000/031573 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 02 June, 2000 (02.06.00), Full text; all drawings (particularly, Claims 5, 7, 12, 13; Figs. 11 to 16) & EP 1146358 A1 & US 6266467 B1	21-40
A	JP 62-176941 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 03 August, 1987 (03.08.87), Example 1 (Family: none)	38-40

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B6/10, G02B6/24, H04B10/08

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B6/10, G02B6/24, H04B10/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JOIS(JSTPLUS)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	NAKAHIRA, M. et al., Measurement of Optical Fiber Loss and Splice Loss by Backscatter Method. In: THE TRANSACTIONS OF THE IECE OF JAPAN, October 1980, VOL. E 63, NO. 10, Pages 762-767 (特に、「2.2 Experimental Equipment」及び「5. Splice Loss Measurement」)	1-20
X	中平瑞穂ほか、「後方散乱法による光ファイバの損失測定」、電気通信研究所研究実用化報告、1980年、第29巻、第11号、第1851-1860頁 (特に、「3 測定系の構成」及び「6 接続損失測定法の検討」)	1-20

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09.11.2004

国際調査報告の発送日

22.11.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高 芳徳

2K

3103

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	LEE, B.C. et al., The Study on the Splice Loss Measurement by Uni-Directional OTDR and its Error Factors. In: Communication Cables and Related Technologies, 1998, Pages 291-296	1 - 2 0
A	J P 2 0 0 2 - 3 0 3 7 4 1 A (信越化学工業株式会社) 2 0 0 2 . 1 0 . 1 8 段落 3 - 8 , 2 5 & EP 1247783 A2 & US 2002/176675 A1	1 - 2 0
Y	J P 2 0 0 3 - 5 1 1 7 3 6 A (コーニング・インコーポレー テッド) 2 0 0 3 . 0 3 . 2 5 全文, 全図 (特に、表 1 及び図 4) & WO 2001/027667 A2	2 1 - 4 0
Y	J P 2 0 0 3 - 8 4 1 6 3 A (住友電気工業株式会社) 2 0 0 3 . 0 3 . 1 9 全文, 全図 (特に、請求項 4 及び図 8、1 9) & US 2003/147610 A1	2 1 - 4 0
Y	WO 2 0 0 0 / 0 3 1 5 7 3 A 1 (住友電気工業株式会社) 2 0 0 0 . 0 6 . 0 2 全文, 全図 (特に、請求項 5, 7, 12, 13 及び図 1 1 - 1 6) & EP 1146358 A1 & US 6266467 B1	2 1 - 4 0
A	J P 6 2 - 1 7 6 9 4 1 A (住友電気工業株式会社) 1 9 8 7 . 0 8 . 0 3 実施例 1 (ファミリーなし)	3 8 - 4 0

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.